

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

SEDE QUITO – CAMPUS SUR

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

MENCION TELEMÁTICA

**“ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
MONITOREO Y CONTROL DE HUMEDAD EN LA BODEGA
UBICADA EN LA CIUDADELA LA ARGELIA, MEDIANTE EL USO
DE TECNOLOGÍA ZIGBEE”**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS

**MARCO ANTONIO MENDOZA QUITIAQUEZ
VERONICA ELIZABETH MOLINA YAGUANA**

ING. RAFAEL JAYA

QUITO, SEPTIEMBRE 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Marco Antonio Mendoza Quitiaquez y Verónica Elizabeth Molina Yaguana declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Marco Antonio Mendoza Quitiaquez

Verónica Elizabeth Molina Yaguana

CERTIFICACIÓN

Certificó que el presente trabajo fue desarrollado por Marco Antonio Mendoza Quitiaquez y Verónica Elizabeth Molina Yaguana bajo mi dirección.

Ing. Rafael Jaya

Director de tesis

DEDICATORIA

Nosotros, Marco Antonio Mendoza Quitiaquez y Verónica Elizabeth Molina Yaguana dedicamos esta tesis a todos quienes han sido parte de nuestros triunfos y fracasos, a todos aquellos que con sus palabras de aliento nos han incentivado a seguir adelante, a nuestros padres, familiares, amigos, profesores y principalmente al mejor de los amigos, Dios, aquel que ha sido nuestra fuerza y ayuda, aquel motor que nos ha impulsado a seguir adelante y no desmaya, aquel que nos ha permitido llegar hasta donde hemos llegado, y sin lugar a duda nos ayudará a llegar más lejos.

Gracias

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar a donde he llegado, por no dejarme sola cuando más lo he necesitado, por tenerme paciencia y darme sabiduría y entendimiento.

Agradezco a mis padres Pablo y Vilma que sin duda alguna han sido columna vertebral en mi vida, a mis hermanos Antonio y Christian por apoyarme y extenderme sus manos en los tiempos difíciles, y al Ing. Rafael Jaya por todo su apoyo, doy gracias a Dios por haberme permitido conocer a personas que a lo largo de mi vida me han apoyado de diversas maneras, entre ellas a mi amigo Danny, que en este momento de mi vida me permito agradecerle por tantas molestias, a él y a todos mis amigos, Gracias.

Verónica Molina

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por darme vida y salud y permitirme llegar a donde he llegado, por nunca abandonarme y dejarme solo cuando más lo he necesitado, por tenerme paciencia y darme sabiduría y entendimiento.

Agradezco a mis padres Nicolás y Rosa que sin duda alguna han sido columna vertebral en mi vida, a mis hermanos Carmen y Víctor por apoyarme y extenderme sus manos en los tiempos difíciles, y al Ing. Rafael Jaya por todo su apoyo, doy gracias a Dios por haberme permitido conocer a personas que a lo largo de mi vida me han apoyado de diversas maneras, entre ellas a mi amigo Danny, que en este momento de mi vida me permito agradecerle por tantas molestias, a él y a todos mis amigos, Gracias.

Marco Mendoza

RESUMEN

En la actualidad existen estándares inalámbricos que tienen sus aplicaciones y usos tales como, por ejemplo, Bluetooth tiene aplicaciones en las telecomunicaciones, audio, etc.; Wi-Fi se aplica a conexiones de internet, pero resulta estar sobredimensionadas para aplicaciones de monitoreo y control.

Zigbee es un estándar basado en el IEEE 802.15.4 y fue creado por la Alianza Zigbee, un consorcio formado por diferentes fabricantes de semiconductores, distribuidores, y usuarios finales; teniendo como propósito la definición de perfiles de aplicaciones inalámbricas por medio de hardware y software desarrollados por sus miembros. El estándar IEEE 802.15.4 se enfoca en la conectividad de sensores y actuadores en general sin el uso de cables.

La incorporación del estándar Zigbee a procesos de automatización y control era un inconveniente debido a la poca información y desconocimiento del mismo. Este problema se trata de resolver en este trabajo creando una aplicación industrial en la que se busca medir y controlar la humedad en la bodega la Argelia.

Para resolver este problema se investigó el estándar para determinar sus características e identificar aquellas relacionadas con el transporte de información desde sensores. Luego se hizo la importación de módulos de demostración IEEE 802.15.4 y se los configuró en concordancia con la aplicación que se desarrolló para probar los enlaces inalámbricos.

Pruebas realizadas al equipo mostraron que Zigbee es un protocolo que presenta confiabilidad en la transmisión de datos, logrando un enlace correcto con interferencias electromagnéticas y de otros equipos que funcionan a la misma frecuencia de operación.

PRESENTACIÓN

Este proyecto, tiene como finalidad proporcionar ayuda a los estudiantes que desean hacer implementaciones con el estándar IEEE 802.15.4/Zigbee, para proyectos de desarrollo e investigación.

En el capítulo I, se hace una breve introducción a todos los alcances que tiene el proyecto.

En el capítulo II, se realiza un estudio del estándar IEEE 802.15.4, comparándolo con los diferentes estándares inalámbricos. Así también el modelo OSI de la Organización Internacional de Normalización ISO, además se estudia las capas físicas PHY y de control de acceso al medio MAC, las cuales establecen las velocidades de transmisión, frecuencias de operación, canales, estructura de los paquetes, topologías de red, estructura de las tramas, tipos de dispositivos IEEE 802.15.4 y Zigbee. Por otra parte se hace una comparación del estándar Zigbee con protocolos como el Bluetooth y WiFi, además se realiza un estudio de los tipos de bases de datos y de los diversos lenguajes de programación para ambiente web como también un estudio minucioso de los tipos de microcontroladores y sensores.

En el capítulo III, se hace un análisis de requerimiento tanto de hardware como de software y de los componentes Zigbee, sensores de humedad, microcontroladores, de cada uno de los diferentes fabricantes con sus tipos de operación y funcionalidades, así como el acceso de adquisición, para el desarrollo del proyecto.

En el capítulo IV, se diseña el hardware, con el nodo de adquisición y el nodo principal, también se realiza la configuración de los módulos Zigbee y software para el proyecto; el mismo que desarrolla aplicación de monitoreo y control de humedad, y la visualización de hombre máquina se realiza a través de una

interfaz web realizada en lenguaje PHP con base de datos MYSQL, además la programación del microcontrolador 16F870 y la representación de diagramas UML.

En el capítulo V, se realizan pruebas y resultados para saber a qué distancia puede transmitir y receptar datos el proyecto, así como también si es un obstáculo las ondas electromagnéticas que existen alrededor tales como ondas de radio y televisión o dispositivos móviles.

CONTENIDO

CAPITULO I: RESUMEN

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO.....	3
1.6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	4

CAPITULO II: ESTUDIO Y COMPARACIÓN DEL ESTANDAR ZIGBEE, SENSOR DE HUMEDAD, MICROCONTROLADOR

2.1 INTRODUCCIÓN.....	5
2.2 ZIGBEE.....	5
2.3 ESTANDARES IEEE 802.15.4.....	6
2.3.1 TIPOS DE DISPOSITIVOS IEEE 802.15.4 Y ZIGBEE.....	7
2.3.2 MODELO DE REFERENCIA ISO / OSI... ..	9
2.4 CAPA FÍSICA.....	10
2.4.1 FRECUENCIA DE OPERACIÓN Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN...12	
2.4.1.1 FRECUENCIA DE OPERACIÓN.....	12
2.4.1.1.1 BANDA DE 868 – 868.6 MHZ.....	12
2.4.1.1.2 BANDA DE 902 – 928 MHZ.....	12
2.4.1.1.3 BANDA DE 2400 – 24835 GHZ.....	12
2.4.1.2 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.....	12
2.4.2 CANALES DE OPERACIÓN.....	13
2.4.3 ESTRUCTURA DEL PAQUETE DE DATOS DE LA CAPA FÍSICA.....	14
2.4.3.1 CABECERA DE SINCRONIZACIÓN DE PPDU.....	14
2.4.3.2 CABECERA DE LA CAPA FÍSICA.....	15
2.4.3.3 CARGA ÚTIL DE LA CAPA FÍSICA.....	15

2.5 SUBCAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC).....	15
2.5.1 CONFIGURACIÓN DE RED.....	16
2.5.1.1 TOPOLOGÍA EN ESTRELLA.....	16
2.5.1.2 TOPOLOGÍA EN ÁRBOL.....	17
2.5.1.3 TOPOLOGÍA EN MALLA.....	17
2.5.2 ESTRUCTURA DE LA TRAMA MAC.....	17
2.5.2.1 CABECERA DE LA TRAMA.....	18
2.5.2.2 CARGA ÚTIL DE LA TRAMA.....	18
2.5.2.3 COLA DE LA TRAMA.....	18
2.5.3 TRAMA BEACON.....	19
2.5.3.1 TRAMA DE DATOS.....	19
2.5.3.2. TRAMA DE ACUSE DE RECIBO.....	20
2.5.3.3. TRAMA DE COMANDOS MAC.....	20
2.6 WLANS, WPANS Y LR – WPANS.....	21
2.6.1 WLAN.....	21
2.6.2 WPANS.....	21
2.6.3 LR – WPANS.....	21
2.7 COMPARACIÓN DE ZIGBEE CON BLUETOOTH Y WI-FI.....	22
2.7.1 BLUETOOTH.....	22
2.7.2 WI-FI.....	23
2.8 APLICACIONES DE ZIGBEE.....	23
2.9 MICROCONTROLADORES.....	24
2.9.1 INTRODUCCIÓN.....	24
2.9.1.1 GAMAS.....	25
2.9.1.1.1 LA GAMA BAJA.....	25
2.9.1.1.2 LA GAMA MEDIA.....	26
2.9.1.1.3 LA GAMA ALTA.....	27
2.9.2 ARQUITECTURA.....	28
2.9.2.1 ARQUITECTURA VON NEUMANN.....	28
2.9.2.2 ARQUITECTURA HARVARD.....	28
2.9.3 EL PROCESADOR O UCP.....	29
2.9.4 MEMORIA DE PROGRAMA.....	29
2.9.4.1 MEMORIAS EEPROM.....	29

2.9.4.2 MEMORIAS FLASH.....	29
2.9.5 MEMORIA DE DATOS.....	30
2.9.5.1 RAM ESTÁTICA Ó SRAM.....	30
2.9.5.2 EEPROM.....	30
2.9.6 SISTEMAS.....	30
2.9.7 FABRICANTES.....	31
2.9.7.1 MICROCHIP.....	32
2.9.7.1.1 ARQUITECTURA DE 8-BITS.....	33
2.9.7.1.2 ARQUITECTURA DE 16-BITS.....	34
2.9.7.1.3 ARQUITECTURA DE 32-BITS.....	35
2.9.7.2 ATMEL.....	35
2.9.7.2.1 ARQUITECTURA AVR.....	36
2.9.7.3 TEXAS INSTRUMENTS.....	37
2.9.7.3.1 ARQUITECTURA DE 16-BITS.....	37
2.9.7.3.2 ARQUITECTURA DE 32-BITS.....	38
2.9.7.3.3 ARQUITECTURA ARM.....	38
2.10 TIPOS DE LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN PARA EL MICRO.....	39
2.10.1 ASSEMBLER.....	39
2.10.2 LENGUAJE C.....	40
2.10.3 BASIC.....	41
2.10.4 PASCAL.....	41
2.11 SENSORES DE HUMEDAD.....	42
2.11.1 INTRODUCCIÓN.....	42
2.11.2 TIPOS.....	42
2.11.2.1 MECÁNICOS.....	42
2.11.2.2 BASADOS EN SALES HIGROSCÓPICAS.....	42
2.11.2.3 POR CONDUCTIVIDAD.....	42
2.11.2.4 CAPACITATIVOS.....	42
2.11.2.5 INFRARROJOS.....	43
2.11.2.6 RESISTIVOS.....	43
2.12 DISEÑO WEB.....	43
2.12.1 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.....	43
2.12.1.1 PHP.....	43

2.12.1.2 ASP.....	44
2.12.1.3 ASP.NET.....	44
2.12.1.4 JAVA.....	44
2.12.1.5 HTML.....	45
2.13 BASE DE DATOS.....	45
2.13.1 TIPOS DE BASE DE DATOS.....	45
2.13.2 MYSQL.....	45
2.13.3 POSTGRESQL Y ORACLE.....	45
2.13.4 ACCESS.....	45
2.12.5 MICROSOFT SQL SERVER.....	46

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

3.1 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE.....	47
3.1.1 SENSORES DE HUMEDAD.....	47
3.1.1.1 SENSOR DE HUMEDAD HS1101.....	47
3.1.1.2 SENSOR DE HUMEDAD HIH-3610-001.....	48
3.1.1.3 SENSOR DE HUMEDAD STH11.....	49
3.1.2 MICROCONTROLADORES.....	50
3.1.2.1 MICROCONTROLADOR PIC 16F870.....	51
3.1.2.1.1 CARACTERÍSTICAS.....	51
3.1.2.1.2 DIAGRAMA DE PINES.....	52
3.1.3 DISPOSITIVOS ZIGBEE.....	53
3.1.3.1 AD-PIXIE DARC.....	53
3.1.3.2 AD-EASYBEE SO.....	53
3.1.3.3 TEHU1121.....	53
3.1.3.4 XBEE.....	53
3.1.3.5 XBEE PRO.....	54
3.2 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE.....	54
3.2.1 SOFTWARE PARA DISEÑO Y SIMULACIÓN.....	54
3.2.1.1 EAGLE.....	54
3.2.1.2 PROTEL DXP.....	54
3.2.1.3 PROTEUS.....	55

3.2.2 SOFTWARE PARA LA PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES.....	56
3.2.2.1 MIKRO C.....	56
3.2.2.2 MIKRO BASIC.....	56
3.2.2.3 PROTON.....	56
3.2.3 PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ.....	57
3.2.3.1 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.....	57
3.2.3.1.1 PHP.....	57
3.2.3.1.2 ASP.....	57
3.2.3.1.3 JAVA.....	58
3.2.4 PROGRAMACIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	58
3.2.4.1 TIPOS DE BASE DE DATOS.....	59
3.2.4.1.1 MYSQL.....	59
3.2.4.1.1 POSTGRESQL Y ORACLE.....	59
3.2.5 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN ENTRE EL MICROCONTROLADOR Y LA PC.....	60
3.2.5.1 USB.....	60
3.2.5.2 RS-232.....	61
3.2.5.3 ETHERNET.....	61

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE PROTOTIPO ZIGBEE

4.1 DISEÑO DE HARDWARE.....	63
4.1.1 ELABORACIÓN DEL ESQUEMA.....	63
4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NODOS Y MÓDULOS DE COMUNICACIÓN...64	
4.1.2.1 NODO ADQUISICIÓN.....	64
4.1.2.2 NODO PRINCIPAL.....	65
4.1.3 PUERTO DE COMUNICACIÓN COM.....	65
4.2 SIMULACIÓN.....	65
4.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA PARA EL PROTOTIPO.....	65
4.3.1 PLACA CIRCUITO ADQUISICIÓN.....	65
4.3.2 NODO PRINCIPAL DISPOSITIVO ZIGBEEEXPLORER.....	66
4.3.2.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS PINES DE LOS MÓDULOS XBEE.....	66

4.4 DISEÑO DE SOFTWARE.....	68
4.4.1 DISEÑO DEL PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR.....	68
4.4.1.1 PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR EN LENGUAJE C.....	68
4.4.2 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO ZIGBEE.....	71
4.5 DISEÑO DE LA INTERFAZ DE LA COMPUTADORA.....	72
4.5.1 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ.....	72
4.5.2 DIAGRAMAS UML.....	72
4.5.2.1 DIAGRAMA DE CASOS DE USO.....	72
4.5.2.2 DIAGRAMA DE SECUENCIA.....	73
4.5.2.3 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES.....	74
4.5.3 PRESENTACIÓN WEB.....	75
4.5.3.1 PROGRAMA DE LA INTERFAZ WEB EN PHP.....	77
4.5.4 INTERFACE HMI (HOMBRE-MÁQUINA).....	81

CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 INTERFERENCIA DE OTROS DISPOSITIVOS.....	82
5.2 RANGO ZIGBEE.....	83
5.3 RANGO DE ALCANDE DEL SISTEMA.....	83
5.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS Y RESULTADOS.....	83
5.5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.....	83
5.5.1 ESCENARIO 1: RANGO DE ALCANCE DEL SISTEMA EN EXTERIORES.....	83
5.5.2 ESCENARIO 2: RANGO DE ALCANCE CON OBSTÁCULOS.....	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	90
TRABAJO A FUTURO.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	93
ANEXOS.....	97
Anexo A DATA SHEET SENSOR DE HUMEDAD HS1101.....	98
Anexo B DATA SHEET DEL MICROCONTROLADOR PIC 16F870.....	103
Anexo C DATA SHEET XBEE.....	110

Anexo D DIAGRAMA CIRCUITAL DEL DISPOSITIVO FINAL.....	116
Anexo E CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO ZIGBEE TX Y RX.....	118
Anexo F CONFIGURACIÓN DE ONN / OFF MANUAL POR MIKRO C.....	126
Anexo G PLANO DE LA BODEGA ARGELIA.....	130

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.4.2.1: Estructura del canal Zigbee.....	13
Figura 2.4.3.1: Estructura de la PPDU.....	14
Figura: 2.5.1.1.1 Topología en estrella.....	16
Figura 2.5.1.2.1: Topología en árbol.....	17
Figura 2.5.1.3.1: Topología en malla.....	17
Figura 2.5.2.1: Estructura general de la trama (MAC).....	18
Figura 2.5.3.1: Formato de la Trama Beacon.....	19
Figura 2.5.3.1.1: Formato de Trama de Datos.....	19
Figura 2.5.3.2.1: Formato de la Trama de Acuse de Recibo.....	20
Figura 2.5.3.3.1: Formato de Trama de Comando MAC.....	20
Figura 2.8.1: Aplicaciones Zigbee.....	24
Figura 2.9.2.1.1: Arquitectura Von Neumann.....	28
Figura 2.9.2.2.1: Arquitectura Harvard.....	29
Figura 2.9.6.1: Diagrama del sistema microcontrolador.....	30
Figura 2.9.6.2: Diagrama en bloques del microcontrolador.....	31
Figura 3.1.1.1.1: Sensor HUMIREL HS1101.....	47
Figura 3.1.1.2.1: Sensor de humedad HIH-3610-001.....	49
Figura 3.1.1.3.1: Sensor de humedad STH11.....	50
Figura 3.1.2.1.2.1: Diagrama de pines del PIC 16F870.....	52
Figura 4.1.1.1 Diagrama de bloques de comunicación Zigbee.....	64
Figura 4.3.1.1: Diseño final de la pista y el screen para el nodo adquisición.....	66
Figura 4.3.2.1: Módulo Zigbee IEEE802.15.4 transmisor-receptor.....	66
Figura 4.3.2.1.2: Transmisor Zigbee.....	67
Figura 4.3.2.1.3: Receptor Zigbee.....	68
Figura 4.5.2.1.1: Diagrama de casos de uso.....	73
Figura 4.5.2.2.1: Diagrama de secuencia.....	73
Figura 4.5.2.3.1: Diagrama de actividades.....	74

Figura 4.5.3.1: Presentación web de la gráfica de humedad.....	75
Figura 4.5.3.2: Presentación web de estadísticas de los valores de humedad diariamente.....	76
Figura 4.5.3.3: Presentación web de los datos de los valores de humedad actualizados.....	76
Figura 4.5.3.4: Presentación web principal.....	77
Figura 4.5.4.1: Interfaz HMI.....	81
Figura 5.1.1 Ubicación de los dispositivos ZigbeeExplorer y Circuito.....	82
Figura 5.5.1.1: Sesión de interfaz web con enlace correcto.....	84
Figura 5.5.1.2: Sesión de interfaz web con problemas en el enlace.....	84
Figura 5.5.2.1: Ubicación de los dispositivos coordinador y dispositivo final.....	85
Figura 5.5.2.2: Ubicación del dispositivo coordinador ZigbeeExplorer en el cuarto de facturación.....	85
Figura 5.5.2.3: Ubicación del dispositivo coordinador ZigbeeExplorer en el cuarto de facturación ampliado el dispositivo.....	86
Figura 5.5.2.4: Ubicación del dispositivo final en el interior de la bodega.....	86
Figura 5.5.2.5 Foto de la Bodega Argelia.....	87
Figura 5.5.2.6 Productos de la Bodega Argelia.....	87
Figura 5.5.2.7 Sensor conectado al aire acondicionado.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.1.1: Tipos de dispositivos del Estándar Zigbee.....	7
Tabla 2.3.1.2: Tipos de dispositivos IEEE 802.15.4.....	9
Tabla 2.3.2.1: Modelo ISO-OSI y modelo del estándar IEEE	10
Tabla 2.4.1.2.1: Bandas y parámetros de operación del estándar IEEE 802.15.4.....	12
Tabla 2.5.3.3.2: Tipos de Tramas de Comandos MAC.....	20
Tabla 2.7.1: Comparativa de tecnologías Wireless.....	22
Tabla 3.1.1.1.2: Características del sensor HS1101.....	48
Tabla 3.1.2.1.1.1: Características del Pic 16F870.....	51
Tabla 3.1.2.1.1.2: Características del pic 16F870.....	51
Tabla 3.1.2.1.1.3: Características del pic 16F870.....	52
Tabla 4.3.2.1.1: Distribución de pines módulo XBEE.....	66

CAPÍTULO I: RESUMEN

1.1 ANTECEDENTES

En función de los términos de referencia del Proyecto “Análisis, diseño e implementación de un prototipo de monitoreo y control de humedad en la bodega ubicada en la ciudadela la Argelia, mediante el uso de tecnología Zigbee”, se procedió a buscar los datos que permitieran realizar un diagnóstico de la situación actual, para lo cual, se visitó dicha bodega, donde se constató las condiciones en que se encontraban los productos de consumo masivo que van hacer adquiridos por los consumidores finales.

Se utilizaron como punto de partida, una entrevista realizada a la propietaria de la bodega situada en la ciudadela la Argelia, y se constató que dicha bodega no es apta para realizar un cableado estructurado, por lo que, se optó por utilizar una tecnología inalámbrica que en nuestro caso será Zigbee.

Los comentarios emitidos por la propietaria de la bodega fueron todos precisamente satisfactorios, para poner en marcha el proyecto.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la variación del clima en nuestra región es irregular, especialmente en la ciudad de Quito, debido a muchos factores como la lluvia la cual se presenta a cualquier momento y a cualquier hora, estos cambios inesperados generan severas alteraciones climáticas, los mismos que varían la humedad apropiada que se debe mantener para conservar en condiciones óptimas los productos de consumo masivo.

Básicamente el problema radica en que los productos alimenticios que se almacena en la bodega ubicada en la Argelia están propensos a todo tipo de temperatura y humedad, debido a que el clima de la ciudad de Quito es muy variado, por tal motivo se analizará un sistema, el cual controle y monitoree la humedad adecuada que se necesita en la bodega

ubicada en la Argelia, para que los productos alimenticios se mantengan en óptimas condiciones.

Así mismo, el cableado es inadecuado debido a que la bodega está diseñada por sectores y no tiene canaletas en su interior para dichas instalaciones, es por tal motivo, se ha decidido implementar una red inalámbrica para la transmisión de datos.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVOS DEL PROBLEMA

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de monitoreo y control de humedad para la bodega de almacenamiento de productos alimenticios ubicada en la ciudadela la Argelia utilizando tecnología Zigbee.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reunir información sobre sistemas de tecnología Zigbee basados en el control y monitoreo de humedad.
- Analizar y adquirir los materiales adecuados y necesarios para construir el prototipo de monitoreo y control de humedad.
- Revisar información, y características necesarias sobre redes inalámbricas para crear un prototipo que satisfaga los requerimientos en el problema planteado anteriormente.
- Construir un prototipo de monitoreo y control de humedad de bajo costo.
- Almacenar los datos de humedad en una BDD.
- Diseñar un portal Web, para visualizar los datos obtenidos de dichas mediciones.
- Registrar los parámetros de humedad de la bodega ubicada en la Argelia mediante tecnología Zigbee.
- Realizar pruebas del sistema de monitoreo y control de humedad.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Al ser parte de un entorno en el que los elevados costos impiden la adquisición de sistemas de monitoreo y control de humedad que permitan realizar procesos de una manera más rápida y eficiente. Tales sistemas tienen software de monitoreo y control bastante complicado que por lo general necesita de personal especializado para su monitoreo.

Es necesario el desarrollo y construcción de sistemas de bajo costo que puedan ser adquiridos y controlados por usuarios que tengan conocimientos básicos en el manejo de sistemas de monitoreo y control de humedad.

Por tal motivo, se desarrollará un prototipo de monitoreo y control de humedad de bajo costo, el cual permitirá censar la humedad adecuada que debe existir en la bodega ubicada en la ciudadela la Argelia, para que los productos alimenticios se conserven en condiciones óptimas para su consumo, el cual evitará pérdidas económicas al propietario de la bodega y a su vez le dará una buena credibilidad ante sus clientes para que consuman productos de calidad.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO

- El prototipo censará el nivel de humedad vía Zigbee en la bodega ubicada en la ciudadela la Argelia de productos alimenticios.
- Los datos obtenidos del módulo Zigbee serán almacenados en una BDD, por segmentos.
- La comunicación entre el módulo Zigbee y el computador será a través de una interfaz RS-232.
- Los datos obtenidos se visualizarán en un portal Web, para llevar un control adecuado de la información a distancia.

1.6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Este proyecto fue desarrollado con la finalidad de mantener la humedad ideal para que los productos alimenticios almacenados en la bodega de la ciudadela la Argelia se encuentren en estado óptimo para el consumidor final.

Inicialmente se reunió información del estado actual en que se encontraba la bodega ubicada en la ciudadela la Argelia, además se constató que no era factible utilizar un cableado, por la estructura de la bodega.

En la segunda parte, se recopila información acerca de dispositivos Zigbee como diferentes fabricantes de semiconductores. Además, se adquirió los materiales necesarios para realizar dicho proyecto.

En la tercera parte, se hace la selección del hardware y software para desarrollar este proyecto. Se describe el hardware que involucra: sensor, microcontrolador PIC, entre otros. Se diseña el software para el proyecto; y se desarrolla la aplicación para un sistema de adquisición y control de humedad. La visualización de datos se la realiza mediante una Interface Hombre-Máquina (HMI) en PHP mediante un portal web.

En la cuarta parte, se especifica la instalación de la red, mediante los computadores huésped y dispositivos Zigbee desarrollados completamente.

En la quinta parte, se ejecutan las pruebas del sistema, se describe los resultados tanto en el rango de alcance como en un rango específico de humedad.

Finalmente se establecen las conclusiones y recomendaciones acerca de la aplicación del estándar Zigbee.

CAPÍTULO II: ESTUDIO Y COMPARACIÓN DEL ESTÁNDAR ZIGBEE, SENSOR DE HUMEDAD, MICROCONTROLADOR.

En este capítulo se describe los principales estándares inalámbricos con sus principales características, ventajas, desventajas y su análisis costo beneficio en comparación con el estándar Zigbee, tipos de dispositivos de la IEEE 802.15.4, modelo de referencia ISO/OSI para el estándar Zigbee, frecuencias de operación, configuraciones de red, base de datos, interfaz web, microcontroladores y los diferentes sensores de humedad existentes en el mercado.

2.1 INTRODUCCIÓN

Las tecnologías inalámbricas con el transcurso del tiempo han ido mejorando, lo que facilita el uso de todo tipo de dispositivos con el fin de mejorar las comunicaciones. Ésta investigación aborda la tecnología inalámbrica Zigbee, basada en el estándar 802.15.4 que por su poca introducción al mercado no es muy conocida aun que no es muy reciente.

La tecnología Zigbee comunica dispositivos para que trabajen más eficiente entre sí. Es un transmisor y un receptor que usa baja potencia para trabajar y su objetivo son aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con bajas tasas de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Es apropiada con las diferentes topologías de red, lo que a su vez lo hace más seguro, barato y no es complicada al momento de su construcción.

Zigbee es la tecnología inalámbrica del futuro debido a sus grandes usos de automatización para edificios, hogares y en especial su aplicación con el uso de sensores.

2.2 ZIGBEE

Zigbee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico similar al Bluetooth, y basado en el estándar para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs, Wireless Personal Area Networks) IEEE 802.15.4. Este estándar inalámbrico surge del fruto de una alianza, sin ánimo de lucro, de más de 200 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de

semiconductores, con el objetivo de conseguir el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo costo.

Destacan empresas como Invensys, Mitsubishi, Honeywell, Philips y Motorola que trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional.

Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth.

Este estándar fue diseñado pensando en la sencillez de la implementación y el bajo consumo, sin perder potencia ni posibilidades. Zigbee amplía el estándar IEEE 802.15.4 aportando una capa de red (NWK, Network Layer) que gestiona las tareas de enrutado y de mantenimiento de los nodos de la red; y un entorno de aplicación que proporciona una subcapa de aplicación (APS, Application Sublayer) que establece una interfaz para la capa de red, y los objetos de los dispositivos tanto de Zigbee como del diseñador.

2.3 ESTÁNDAR IEEE 802.15.4¹

IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate-wireless personal área network, LR-WPAN). La actual revisión del estándar se aprobó en el 2006. El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el responsable de su desarrollo.

También es la base sobre la que se define la especificación de Zigbee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

CARACTERÍSTICAS²

Algunas de las características de Zigbee son:

- Zigbee opera en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos).
- Tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 75 metros.

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4

² <http://www.seccperu.org/files/Zigbee.pdf>

- A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y, a características propias del estándar IEEE 802.15.4.
- Capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino.
- Cada red Zigbee tiene un identificador de red único, lo que permita que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema. Teóricamente pueden existir hasta 16 000 redes diferentes en un mismo canal y cada red puede estar constituida por hasta 65 000 nodos, obviamente estos límites se ven truncados por algunas restricciones físicas (memoria disponible, ancho de banda, etc.).
- Es un protocolo de comunicación multi-salto; es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos aun cuando estos se encuentren fuera del rango de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta manera, se incrementa el área de cobertura de la red.
- Su topología de malla (MESH) permite a la red auto recuperarse de problemas en la comunicación aumentando su confiabilidad.

2.3.1 TIPOS DE DISPOSITIVOS IEEE 802.15.4 Y ZIGBEE

Se definen tres tipos diferentes de dispositivos Zigbee según su papel en la red, tal como se muestra en la Tabla 2.3.1.1:

Dispositivos del Estándar Zigbee	Tipos de Dispositivos IEEE	Función Típica
Coordinador	FDD	Uno por red. Forma la Red. Distribuye las direcciones de red, mantiene la tabla de dispositivos de red.
		Opcional. Extiende el

Ruteador	FFD	rango de la Red físicamente. Permite que más nodos se unan a la red. Puede también ejecutar monitoreo y/o control de funciones.
Final	FFD o RFD	Ejecuta monitoreo y/o control de funciones.

Tabla 2.3.1.1: Tipos de dispositivos del Estándar Zigbee³.

COORDINADOR ZIGBEE (Zigbee coordinator, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Puede actuar como director de una red en árbol así como servir de enlace a otras redes. Existe exactamente un coordinador por cada red, que es el nodo que la comienza en principio. Puede almacenar información sobre la red y actuar como su centro de confianza en la distribución de claves de cifrado.

ROUTER ZIGBEE (ZR). Además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red.

DISPOSITIVO FINAL (Zigbee end device, ZED). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

En base a su funcionalidad puede plantearse una segunda clasificación perteneciente al estándar IEEE 802.15.4 tal como se muestra en la Tabla 2.3.1.2.

³<http://ww1.mikroChip.com/downloads/en/AppNotes/00965b.pdf>

- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): es capaz de recibir mensajes en formato del estándar 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como coordinador o router o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo costo y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

Tipos de dispositivos	Servicios	Fuente típica de energía	Configuración Típica del Receptor
Dispositivos de Funciones Completas (FFD).	Mayoría o todos	Principal	Encendido en modo "pasivo"
Dispositivos de Funciones Reducidas(RFD)	Limitados	Batería o disponible	Apagado en modo "pasivo"

Tabla 2.3.1.2: Tipos de dispositivos IEEE 802.15.4⁴.

2.3.2 MODELO DE REFERENCIA ISO/OSI

La arquitectura de las capas del modelo de referencia ISO/OSI: ISO Organización Internacional de Normalización (International Standard Organization): OSI (Open System Interconnection) Sistema Abierto de Interconexiones.

También son utilizadas dentro del estándar Zigbee, lo que las hace diferentes la una de las otras, a continuación se detalla las diferentes capas como se muestra en la Tabla 2.3.2.1

⁴<http://ww1.mikroChip.com/downloads/en/AppNotes/00965b.pdf>


Modelo ISO-OSI Siete capas	Modelo ISO-OSI Cinco capas simplificadas	Modelo IEEE 802
7 Aplicación	Aplicación	
6 Presentación		
5 Sesión		
4 Transporte		
3 Red	Red	
2 Enlace de datos	Enlace de datos	Control de Enlace Lógico al Medio(MAC)
		Control de Acceso al Medio(MAC)
1 Física	Física	Física (PHY)

Tabla 2.3.2.1: Modelo ISO-OSI y modelo del estándar IEEE 802⁵.

2.4 CAPA FÍSICA⁶

La capa de más bajo nivel es la capa física (PHY), que en conjunto con la capa de acceso al medio (MAC), brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto. Estas dos capas esta descritas en el estándar IEEE 802.15.4.

El estándar trabaja sobre las bandas ISM de uso no regulado, dónde se definen hasta 16 canales en el rango de 2.4 GHz, cada una de ellas con un ancho de banda de 5 MHz. Se utilizan radios con un espectro de dispersión de secuencia directa, lográndose tasas de transmisión en el aire de hasta 250 Kbps en rangos que oscilan entre los 10 y 75 m, los cuales dependen bastante del entorno.

LA CAPA DE RED (NWK), tiene como objetivo principal permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. En esta capa se brindan los métodos necesarios para: iniciar la red, unirse a la red, enrutar paquetes dirigidos a otros nodos en la red, proporcionar los medios para

⁵GUTIÉRREZ, José; CALLAWAY, Edgar; BARRET, Raymond, Low-Rate Wireless Personal Area Network.EnablingWirelessSensorswith IEEE 802.15.4. Primera Edición. Estados Unidos. 2004

⁶ <http://www.seccperu.org/files/Zigbee.pdf>

garantizar la entrega del paquete al destinatario final, filtrar paquetes recibidos, cifrarlos y autentificarlos.

Se debe tener en cuenta que el algoritmo de enrutamiento que se usa es el de enrutamiento de malla, el cual se basa en el protocolo Ad Hoc On-Demand Vector Routing – AODV. Cuando esta capa se encuentra cumpliendo la función de unir o separar dispositivos a través del controlador de red, implementa seguridad, y encamina tramas a sus respectivos destinos; además, la capa de red del controlador de red es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma. Es en esta capa en donde se implementan las distintas topologías de red que Zigbee soporta (árbol, estrella y mesh network).

LA CAPA SOPORTE, es la responsable de mantener el rol que el nodo juega en la red, filtrar paquetes a nivel de aplicación, mantener la relación de grupos y dispositivos con los que la aplicación interactúa y simplifica el envío de datos a los diferentes nodos de la red. La capa de Red y de soporte a la aplicación definida por la Zigbee Alliance.

En el nivel conceptual más alto se encuentra la capa de aplicación que no es otra cosa que la aplicación misma y de la que se encargan los fabricantes. Es en esta capa donde se encuentran los ZDO (Zigbee Device Objects) que se encargan de definir el papel del dispositivo en la red, si el actuará como coordinador, ruteador o dispositivo final; la subcapa APS y los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes.

Cada capa se comunica con sus capas subyacentes a través de una interface de datos y otra de control, las capas superiores solicitan servicios a las capas inferiores, y éstas reportan sus resultados a las superiores. Además de las capas mencionadas, a la arquitectura se integran otro par de módulos: **módulo de seguridad**, que es quien provee los servicios para cifrar y autentificar los paquetes, y el **módulo de administración del dispositivo Zigbee**, que es quien se encarga de administrar los recursos de red del dispositivo local, además de proporcionar a la aplicación funciones de administración remota de red.

2.4.1 FRECUENCIA DE OPERACIÓN Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

2.4.1.1 FRECUENCIA DE OPERACIÓN

De acuerdo al estándar IEEE 802.15.4 se mostrara tres tipos de frecuencias no licenciadas en los que estos operan, tal cual como se detallara a continuación.

2.4.1.1.1 BANDA DE 868 – 868.6 MHZ

Esta banda opera en los países europeos y se la denomina la banda de los 868Mhz.

2.4.1.1.2 BANDA DE 902 – 928 MHZ

Esta banda es utilizada en el norte de América, y se la denomina la banda de 915Mhz.

2.4.1.1.3 BANDA DE 2400 – 24835 GHZ

Es una de las bandas más utilizadas ya que no tiene licencia, está disponible en la mayoría de los países es decir es una banda mundial, y se denomina la banda de 2.4Ghz.

2.4.1.2 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN⁷

La Capa Física del IEEE 802.15.4 puede trabajar en uno de tres rangos de frecuencias: 868 Mhz, 915 Mhz o 2.4 Ghz con velocidades de hasta 20 kbps, 40 kbps y 250 kbps y cuya utilización de bandas de frecuencias es Europa, Estados Unidos y el resto del mundo, respectivamente. La norma IEEE 802.15.4 permite alcanzar distancias de hasta 100 metros con muy baja energía, lo que la hace práctica en la mayoría de aplicaciones domóticas, a continuación se muestra un detalle en la Tabla 2.4.1.2.1

PHY.	Banda.	Parámetro de Datos.
868/915MHz PHY.	868.0-868.6MHz.	20.
	902.0-928.0MHz.	40.
2.4GHz PHY.	2.4-4.4835GHz.	250.

Tabla 2.4.1.2.1: Bandas y parámetros de operación del estándar IEEE 802.15.4⁸.

⁷ <http://www.zero13wireless.net/foro/showthread.php?t=1483>

⁸ <http://www.scribd.com/doc/19049146/El-Standard-Zigbee>

2.4.2 CANALES DE OPERACIÓN

Se da una especificación de 27 canales los cuales son numerados desde el 0 hasta el 26, y están disponibles para 3 bandas, tal cual como se detalla en la Figura 2.4.2.1.

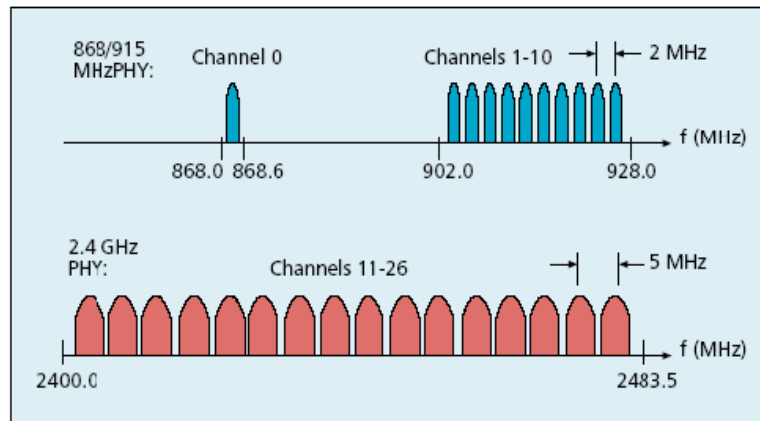


Figura 2.4.2.1: Estructura del canal Zigbee⁹.

El **PHY** de 868/915 Mhz soporta un solo canal entre 868.0 y 868.6 MHz, y 10 canales entre 902.0 y 928.0 Mhz. Debido al soporte regional para estas dos bandas, es improbable que una sola red debería usar siempre los 11 canales. Sin embargo, las dos bandas son consideradas bastante cerradas en frecuencias similares, si no son idénticas, el hardware puede usarse para ambas, bajando los costos de manufacturación. Los **PHY** de 2.4 Ghz soporta los 16 canales entre 2.4 y 2.4835 Ghz con un amplio espacio del canal (5 Mhz) para una transmisión fácil y unos requerimientos de recepción filtrada.

Desde que se concibió la idea de usar múltiples y diferentes redes inalámbricas de uso casero y con la misma banda de frecuencia, así como la interferencia involuntaria de los electrodomésticos, la habilidad de relocalizar dentro del espectro será un factor importante en el éxito de la red. La norma incluye los pasos necesarios para llevar a cabo la selección de un canal dinámico, aunque el algoritmo específico de la selección se deja para la capa de red.

La capa MAC incluye una función que examina estos pasos a través de la lista de bandas soportadas en la búsqueda de una **beacon**, mientras las capas de **PHY** contienen algunas funciones de bajo nivel, tales como detección de receptores de energía, la indicación de la

⁹ <http://www.scribd.com/doc/19049146/El-Standard-Zigbee>

calidad de **link**, y la conmutación de canal, qué habilita la valoración del canal y la agilidad de frecuencia.

2.4.3 ESTRUCTURA DEL PAQUETE DE DATOS DE LA CAPA FÍSICA

La unidad de datos de protocolo de la capa física (PPDU, PHY Protocol Data Unit) designa a cada paquete como unidad. La PPDU realiza el encapsulamiento de todos los datos que se encuentra en los niveles superiores. Se fundamenta en tres componentes:

Cabecera de sincronización (synchronization header).

Cabecera de la capa física (PHY header).

Carga útil de la capa física (PHY payload).

Para mejor entendimiento se detalla en la Figura 2.4.3.1 las especificaciones de la PPDU.

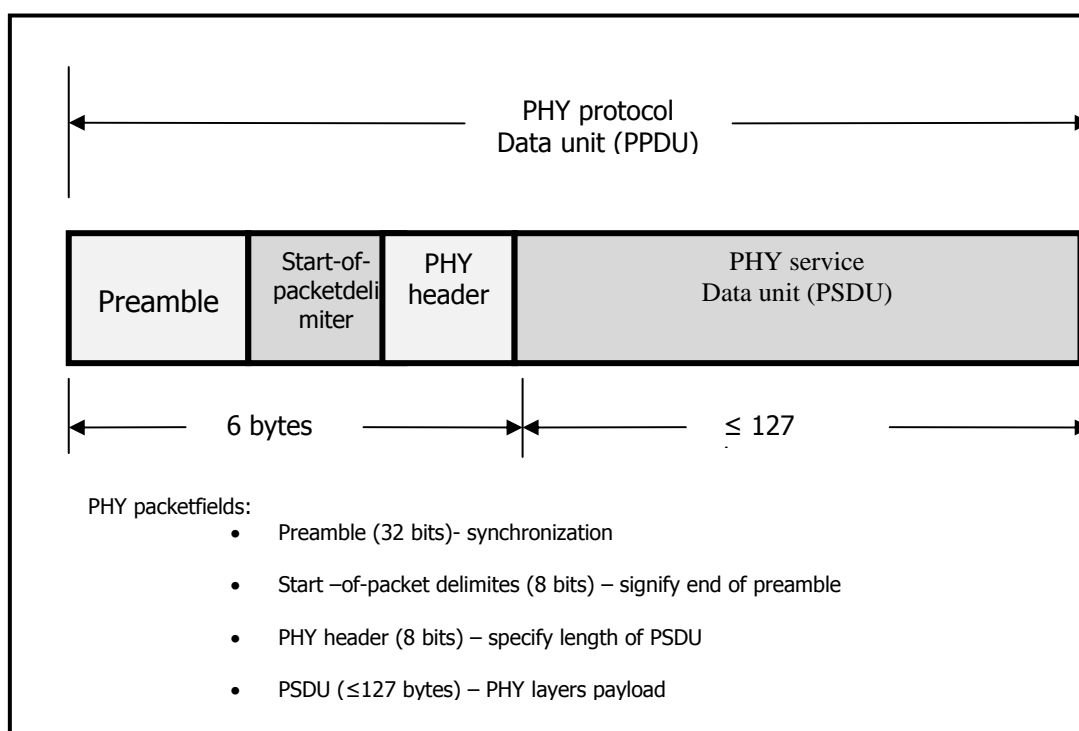


Figura 2.4.3.1: Estructura de la PPDU¹⁰.

2.4.3.1 CABECERA DE SINCRONIZACIÓN DE PPDU

Esta cabecera consta de dos campos, un preámbulo (Preamble) y un delimitador de inicio de trama (start-of-frame-delimiter). El preámbulo contiene 32 bits y permite a los nodos

¹⁰http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Oct05Marzo06/Inalámbricas/Trabajo1/TRaduccion/proyecto_g2.pdf

receptores lograr la sincronización de bits del paquete. El delimitador de inicio de trama contiene 8 bits y permite al receptor identificar el inicio de los bits de datos del paquete.

2.4.3.2 CABECERA DE LA CAPA FÍSICA

Esta cabecera usa siete bits para especificar la longitud de la carga útil de datos del paquete (en bytes). La longitud tiene un máximo de 127 bytes.

2.4.3.3 CARGA ÚTIL DE LA CAPA FÍSICA

Está compuesta de un solo campo y es conocida como Unidad de Servicio de Datos (PSDU Physical Layer Service Data Unit). En la PSDU se encapsula la trama MAC.

2.5 SUBCAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC)¹¹

El paquete MAC, se utiliza para el control remoto y la configuración de dispositivos/nodos. Una red centralizada utiliza este tipo de paquetes para configurar la red a distancia.

Para acabar, el paquete baliza ‘despierta’ los dispositivos, que escuchan y luego vuelven a ‘dormirse’ si no reciben nada más. Estos paquetes son importantes para mantener todos los dispositivos y los nodos sincronizados, sin tener que gastar una gran cantidad de batería estando todo el tiempo encendidos.

La seguridad de las transmisiones y de los datos son puntos clave en la tecnología Zigbee. Zigbee utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica 4 servicios de seguridad.

Control de acceso, el dispositivo mantiene una lista de los dispositivos ‘comprobados’ en la red.

Datos Encriptados, los cuales usan una encriptación con un código de 128 bits. Integración de tramas para proteger los datos de ser modificados por otros. Secuencias de actualización, para comprobar que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de actualización y su valor, para ver si son las esperadas.

¹¹ <http://www.osiriszig.com/content.aspx?co=15&t=21&c=2>

Depende del dispositivo final que se cree será la decisión el dotarlo de más o menos seguridad.

2.5.1 CONFIGURACIÓN DE RED ¹²

Como se puede comprobar, las configuraciones Mesh y Cluster Tree proveen al sistema de caminos redundantes. Examinando los esquemas se puede establecer que las redes Zigbee constan de los siguientes tipos de dispositivos:

- El nodo coordinador Zigbee: Hay uno y solo uno en cada red, que actúa como un router que interconecta con otras redes. Puede ser enlazado a la raíz de una red Cluster Tree. Se diseña para almacenar toda la información de la red.
- Dispositivo de funcionalidad completa FFD: El FFD es un router intermediario que transmite datos de otros dispositivos. Precisa de menos memoria que el coordinador y por supuesto tiene un menor costo de fabricación. Opera en todas las topologías y puede funcionar como coordinador.
- Dispositivo de funcionalidad reducida RFD: Este dispositivo solo puede hablar en la red, es decir, no puede recibir ni enviar datos de otros nodos. Requiere menor memoria que ningún otro tipo de nodo y será, como es obvio, más barato. Solo habla con el coordinador y se implementa muy fácilmente en la topología de estrella.

2.5.1.1 TOPOLOGÍA EN ESTRELLA

El coordinador se sitúa en el centro como se muestra en la Figura 2.5.1.1.1

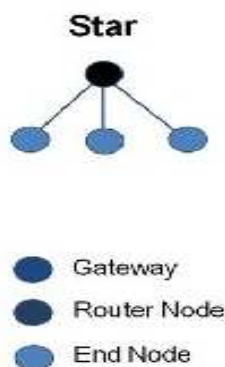


Figura: 2.5.1.1.1 Topología en estrella¹³.

¹² <http://www.aexit.es/aexit/ap/aexit.php/doc/Redes-Zigbee-43.htm?sesion=bbe4d7b7f5128eedece3c99146023ebb>

2.5.1.2 TOPOLOGÍA EN ÁRBOL (tree)

El coordinador será la raíz del árbol, como se muestra en la Figura 2.5.1.2.1

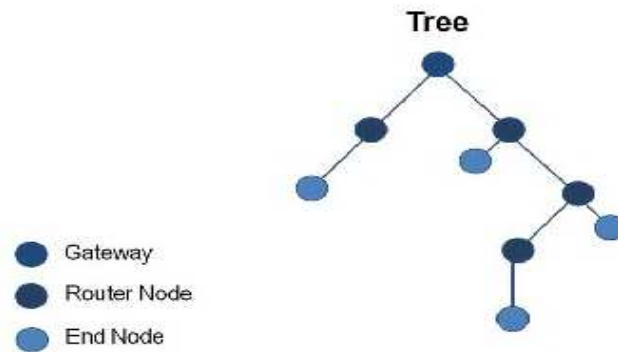


Figura 2.5.1.2.1: Topología en árbol.

2.5.1.3 TOPOLOGÍA EN MALLA

Al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones, como se muestra en la Figura 2.5.1.3.1

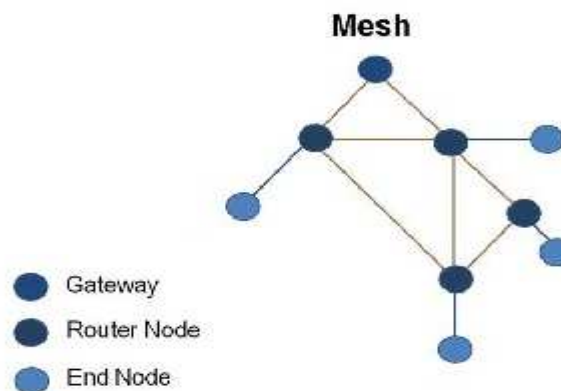


Figura 2.5.1.3.1: Topología en malla.

2.5.2 ESTRUCTURA DE LA TRAMAMAC¹⁴

La estructura MAC del estándar IEEE 802.15.4 está diseñada de modo que refleje la simplicidad y flexibilidad del protocolo. La trama MAC consta de tres partes:

¹³ <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9508>

¹⁴ GUTIÉRREZ, José; CALLAWAY, Edgar; BARRET, Raymond, Low-Rate Wireless Personal Area Network. Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4. Primera Edición. Estados Unidos. 2004

Cabecera de la trama (frame header).

Carga útil de la trama (frame payload).

Pie de la trama (frame footer).

Los tres componentes de la trama MAC toman el nombre de protocolo de unidad de datos MPDU (MAC Protocol Data Unit) que luego se ensambla en el paquete de la capa física mostrado en la Figura 2.5.2.1

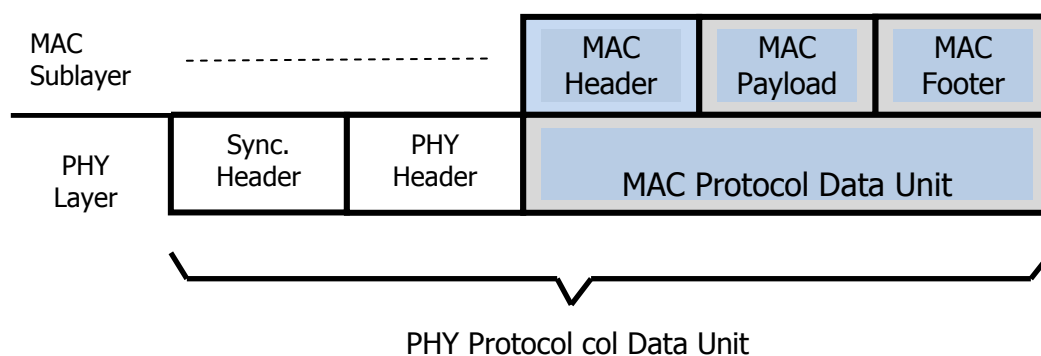


Figura 2.5.2.1: Estructura general de la trama (MAC).

2.5.2.1 CABECERA DE LA TRAMA

La cabecera MAC consta de un campo de control de trama y un campo de direccionamiento. El campo de control de trama, especifica el tipo de trama, uso de seguridad y el formato y contenido del campo de dirección. El campo de direccionamiento contiene direcciones de origen o destino especificadas en el campo de control de trama.

2.5.2.2 CARGA ÚTIL DE LA TRAMA

La carga útil de la trama contiene información sobre el tipo de trama y éste puede ser dividido en forma lógica para su uso para las capas superiores.

2.5.2.3 COLA DE LA TRAMA

El pie es en este caso el campo FCS (Frame Check Sequence) y sirve para verificar la integridad de las tramas MAC.

El estándar IEEE 802.15.4 define cuatro tipos de tramas MAC:

2.5.3 TRAMA BEACON

La trama beacon es habilitada por los dispositivos de funciones totales para localizar dispositivos Zigbee y unirlos a la red. En una trama beacon, el campo de direcciones contiene la fuente del Identificador de Red de Área Personal PAN ID y la fuente de direcciones de dispositivos. El valor MAC de una trama beacon está dividido en cuatro campos.

Especificación de la Supertrama (Super frame Specification): contiene los parámetros que especifican la estructura de la super trama.

Especificación Pendiente de Direcciones (Pending Address Specification): contienen el número y tipo de direcciones especificadas en el campo de lista de direcciones.

Lista de Direcciones (Address List): contiene la lista de direcciones de dispositivos con datos disponibles para el coordinador PAN.

Carga útil Beacon (Beacon Payload): Es un campo opcional que contiene datos para todos los dispositivos participantes en la red (broadcast) dentro del rango de cobertura.

El formato de una trama beacon se muestra en la Figura 2.5.3.1

MAC Header			MAC Payload				MAC footer
Frame Control	Sequence Number	Addressing Fields	Superframe Specification	GTS fields	Pending address field	Beacon Payload	FCS

Figura 2.5.3.1: Formato de la Trama Beacon.

2.5.3.1 TRAMA DE DATOS

La trama de datos es usada por la subcapa MAC para transmitir datos y su formato se muestra en la Figura 2.5.3.1.1

MAC Header			MAC Payload	MAC footer
Frame Control	Sequence Number	Addressing Fields	Data Payload	FCS

Figura 2.5.3.1.1: Formato de Trama de Datos.

2.5.3.2. TRAMA DE ACUSE DE RECIBO

La trama de acuse de recibo es enviada por la subcapa MAC para confirmar la recepción satisfactoria de la trama hacia el origen del mensaje. El formato de esta trama se muestra en la Figura 2.5.3.2.1

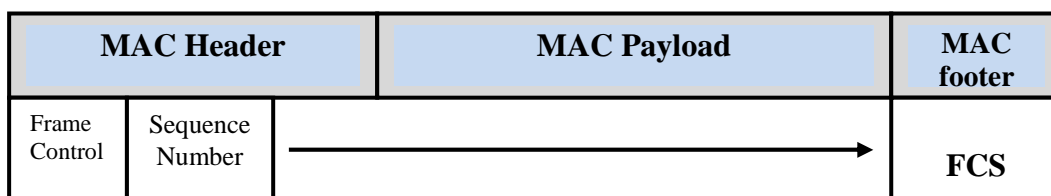


Figura 2.5.3.2.1: Formato de la Trama de Acuse de Recibo.

2.5.3.3. TRAMA DE COMANDOS MAC

La trama de comandos MAC es originada por la subcapa MAC y se encarga de todo el control de transferencia de la MAC. , los tipos de comando MAC se muestran en la Figura 2.5.3.3.1

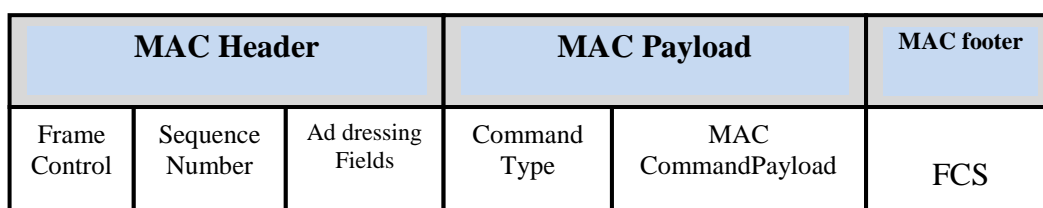


Figura 2.5.3.3.1: Formato de Trama de Comando MAC.

La carga útil de la MAC (MAC payload) tiene dos campos, el tipo de comando MAC (MAC command type) y el Valor del Comando MAC (MAC command payload). EL Valor de Comando MAC contiene información específica del tipo de comando en uso. La Tabla 2.5.3.3.2 muestra los detalles del formato de Trama de Comando MAC.

Indicador de comando	Tipo de Comando
1	Solicitud de Asociación
2	Respuesta de Asociación
3	Notificación de Disociación
4	Petición de Datos

5	Conflicto en la notificación del Identificador de Red de PAN ID
6	Notificación de huérfano
7	Petición de Trama Beacon
8	Realineación del coordinador
9-255	Reservado

Tabla 2.5.3.3.2: Tipos de Tramas de Comandos MAC.

2.6 WLANS, WPANS Y LR – WPANS

2.6.1 WLAN

WLAN (Wireless Local Area Network), es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes LAN cableadas o como extensión de éstas. Utiliza tecnología de radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. Las WLAN van adquiriendo importancia en muchos campos, como almacenes o para manufactura, en los que se transmite la información en tiempo real a una terminal central.

2.6.2 WPANS

Wireless Personal Area Networks, Red Inalámbrica de Área Personal o Red de área personal o Personal area network es una red de computadoras para la comunicación entre distintos dispositivos (tanto computadoras, puntos de acceso a internet, teléfonos celulares, PDA, dispositivos de audio, impresoras) cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal, así como fuera de ella.

2.6.3 LR – WPANS

IEEE 802.15.4

Es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate-wireless personal area network, LR-WPAN).

También es la base sobre la que se define la especificación de Zigbee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

2.7 COMPARACIÓN DE ZIGBEE CON BLUETOOTH Y WIFI

Esta es una comparación de las diferentes tecnologías inalámbricas frente a Zigbee tal como se muestra en la Tabla 2.7.1

Estándar	Ancho de Banda	Consumo de potencia	Ventajas	Aplicaciones
WiFi	Hasta 54 Mbps	400 mA transmitiendo, 20 mA en reposo	Gran ancho de banda	Navegador por Internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros
Bluetooth	1 Mbps	40 mA transmitiendo, 0.2 mA en reposo	Interoperabilidad, sustituto del cable	Wireless USB móviles, informática casera
Zigbee	250Kbps	30mA transmitiendo, 3 mA en reposo	Batería de larga duración, bajo costo	Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores, juguetería

Tabla 2.7.1: Comparativa de tecnologías Wireless¹⁵.

2.7.1 BLUETOOTH¹⁶

Es el nombre común de la especificación industrial **IEEE 802.15.1**, que define un estándar global de comunicación inalámbrica que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura, globalmente y sin licencia de corto rango.

¹⁵ <http://www.osiriszig.com/content.aspx?co=15&t=21&c=2>

¹⁶ <http://tecnio.com/%C2%BFque-es-bluetooth/>

Una red Zigbee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, frente a los 8 máximos de una subred (Piconet) Bluetooth.

Menor consumo eléctrico que el de Bluetooth. En términos exactos, Zigbee tiene un consumo de 30mA transmitiendo y de 3uA en reposo, frente a los 40mA transmitiendo y 0.2mA en reposo que tiene el Bluetooth. Este menor consumo se debe a que el sistema Zigbee se queda la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar, y siempre se está transmitiendo y/o recibiendo.

Tiene una velocidad de hasta 250 kbps, mientras que en Bluetooth es de hasta 1 Mbps.

Debido a las velocidades de cada uno, es más apropiado que el otro para ciertas aplicaciones de comunicación inalámbrica. Por ejemplo, mientras que el Bluetooth se usa para aplicaciones como los teléfonos móviles y la informática casera, la velocidad del Zigbee se hace insuficiente para estas tareas, desviándolo a usos tales como la Domótica.

Los productos dependientes de la batería, los sensores médicos, y en artículos de juguetería, en los cuales la transferencia de datos es menor.¹⁷

2.7.2 WIFI¹⁸

Cuando se habla de **WIFI** se refiere a una de las tecnologías de comunicación inalámbrica mediante ondas más utilizada hoy en día. WIFI, también llamada WLAN (wireless lan. red inalámbrica) o estándar IEEE 802.11. WIFI no es una abreviatura de Wireless Fidelity, simplemente es un nombre comercial.

2.8 APLICACIONES DE ZIGBEE¹⁹

Los protocolos Zigbee están definidos para su uso en aplicaciones embebidas con requerimientos muy bajos de transmisión de datos y consumo energético. Se pretende su uso en aplicaciones de propósito general con características auto organizativas y bajo costo (redes en malla, en concreto). Puede utilizarse para realizar control industrial, albergar sensores empotrados, recolectar datos médicos, ejercer labores de detección de humo o intrusos o domótica.

¹⁷ <http://borealttech.wordpress.com/2006/12/20/bluetooth-vs-Zigbee/>

¹⁸ <http://www.aulaclie.es/articulos/WiFi.html>

¹⁹ <http://www.monografias.com/trabajos61/Zigbee-estandar-domotico-inmotica/Zigbee-estandar-domotico-inmotica2.shtml>

La red en su conjunto utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 5 años antes de necesitar un recambio en su sistema de alimentación, como se ilustra en la Figura 2.8.1



Figura 2.8.1: Aplicaciones Zigbee.

2.9 MICROCONTROLADORES²⁰

2.9.1 INTRODUCCIÓN

Un microcontrolador es un circuito integrado que ofrece las posibilidades de un pequeño computador. En su interior se encuentra un procesador, memoria, y varios periféricos. El secreto del microcontrolador se encuentra en su tamaño, su precio y su diversidad.

Un microcontrolador posee todos los componentes de una computadora, pero con características fijas que no pueden alterarse. Las partes principales son:

1. Procesador.
2. Memoria no volátil para contener el programa.
3. Memoria de lectura y escritura para guardar los datos.
4. Líneas de E/S para los controladores de periféricos:
 - a) Comunicación paralelo.
 - b) Comunicación serie.
 - c) Diversas puertas de comunicación: (bus I2C, USB, etc.)

²⁰ <http://pjmicrocontroladores.wordpress.com/2006/11/06/%C2%BFque-es-un-microcontrolador/>

5. Recursos Auxiliares:

- a) Circuito de reloj.
- b) Temporizadores.
- c) Perro Guardián («watchdog»).
- d) Convertidores AD y DA.
- e) Comparadores analógicos.
- f) Protección contra fallos de alimentación.
- g) Estado de reposo o bajo consumo.

2.9.1.1 GAMAS²¹

Los microcontroladores se define en tres gamas se dispone de gran diversidad de modelos y encapsulados, pudiendo seleccionar el que mejor se acople a las necesidades de acuerdo con el tipo y capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S y las funciones auxiliares precisas. Sin embargo, todas las versiones están construidas alrededor de una arquitectura común, un repertorio mínimo de instrucciones y un conjunto de opciones muy apreciadas, como el bajo consumo y el amplio margen del voltaje de alimentación.

2.9.1.1.1 LA GAMA BAJA:

La memoria de programa puede contener 512, 1 k. y 2 k palabras de 12 bits, y ser de tipo ROM, EPROM. También hay modelos con memoria OTP, que sólo puede ser grabada una vez por el usuario. La memoria de datos puede tener una capacidad comprendida entre 25 y 73 bytes. Sólo disponen de un temporizador (TMR0), un repertorio de 33 instrucciones y un número de pines para soportar las E/S comprendido entre 12 y 20. El voltaje de alimentación admite un valor muy flexible comprendido entre 2 y 6,25 V, lo cual posibilita el funcionamiento mediante pilas corrientes teniendo en cuenta su bajo consumo (menos de 2 mA a 5 V y 4 Mhz).

Al igual que todos los miembros de la familia PIC16/17, los componentes de la gama baja se caracterizan por poseer los siguientes recursos.

1. Sistema POR (POWER ON RESET).

Todos los PIC tienen la facultad de generar un auto reinicialización o autoreset al conectarles la alimentación.

2. Perro guardián, (Watchdog).

²¹<http://www.info-ab.uclm.es/labeledc/Solar/Microcontroladores/GamaBaja.htm>

Existe un temporizador que produce un reset automáticamente si no es recargado antes que pase un tiempo prefijado. Así se evita que el sistema quede "colgado" dado en esa situación el programa no recarga dicho temporizador y se genera un reset.

3. Código de protección.

Cuando se procede a realizar la grabación del programa, puede protegerse para evitar su lectura. También disponen, los PIC de posiciones reservadas para registrar números de serie, códigos de identificación, prueba, etc.

4. Líneas de E/S de alta corriente.

Las líneas de E/S de los PIC pueden proporcionar o absorber una corriente de salida comprendida entre 20 y 25 mA, capaz de sobre cargar directamente ciertos periféricos.

5. Modo de reposo (bajo consumo o SLEEP).

Ejecutando una instrucción (SLEEP), el CPU y el oscilador principal se detienen y se reduce notablemente el consumo.

Para terminar el comentario introductorio sobre los componentes de la gama baja conviene nombrar dos restricciones importantes.

- La pila o "stack" sólo dispone de dos niveles lo que supone no poder encadenar más de dos subrutinas.
- Los microcontroladores de la gama baja no admiten interrupciones.

2.9.1.1.2 LA GAMA MEDIA:

En esta gama sus componentes añaden nuevas prestaciones a las que poseían los de la gama baja, haciéndoles más adecuados en las aplicaciones complejas. Admiten interrupciones, poseen comparadores de magnitudes analógicas, convertidores A/D, puertos serie y diversos temporizadores.

Algunos modelos disponen de una memoria de instrucciones del tipo OTP ("One Time Programmable"), que sólo la puede grabar una vez el usuario y que resulta mucho más económica en la implementación de prototipos y pequeñas series.

Hay modelos de esta gama que disponen de una memoria de instrucciones tipo EEPROM, que, al ser borrables eléctricamente, son mucho más fáciles de reprogramar que las EPROM, que tienen que ser sometidas a rayos ultravioleta durante un tiempo determinado para realizar dicha operación.

Comercialmente el fabricante ofrece cuatro versiones de microcontroladores en prácticamente todas las gamas.

1ª. Versión EPROM borrrable con rayos ultravioleta. La cápsula dispone de una ventana de cristal en su superficie para permitir el borrado de la memoria de programa al someterla durante unos minutos a rayos ultravioleta procedentes de lámparas fluorescentes especiales.

2ª. Versión OTP. "Programable una sola vez". Son similares a la versión anterior, pero sin ventana y sin la posibilidad de borrar lo que se graba.

3ª. Versión QTP. Es el propio fabricante el que se encarga de grabar el código en todos los chips que configuran pedidos medianos y grandes.

4ª. Versión SQTP. El fabricante solo graba unas pocas posiciones de código para labores de identificación, número de serie, palabra clave, checksum, etc.

El temporizador TMR1 que hay en esta gama tiene un circuito oscilador que puede trabajar asíncronamente y que puede incrementarse aunque el microcontrolador se halle en el modo de reposo ("sleep"), posibilitando la implementación de un reloj en tiempo real.

Las líneas de E/S del puerto B presentan una carga "pull-up" activada por software.

2.9.1.1.3 LA GAMA ALTA:

En esta gama un microcontrolador es de 32 bits maneja valores hasta de 4, 294, 967,295 (0 a FFFFFFFFh) en una sola operación.

Para elegir el micro adecuado debes saber qué tipo de operaciones vas a realizar, algunas veces es preferible usar micros de 8 bits para aplicaciones de 32 bits porque sabes que la aplicación no lo requiere, pero a veces es mejor un micro de 16 o 32 bits porque además de las mejores capacidades de cálculo también contienen periféricos más avanzados.

2.9.2 ARQUITECTURA²²

Hay dos arquitecturas conocidas; la clásica de Von Neumann, y la arquitectura Harvard, como son;

2.9.2.1 ARQUITECTURA VON NEUMANN

Dispone de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses únicos (direcciones, datos y control), tal como se muestra en la Figura 2.9.2.1.1

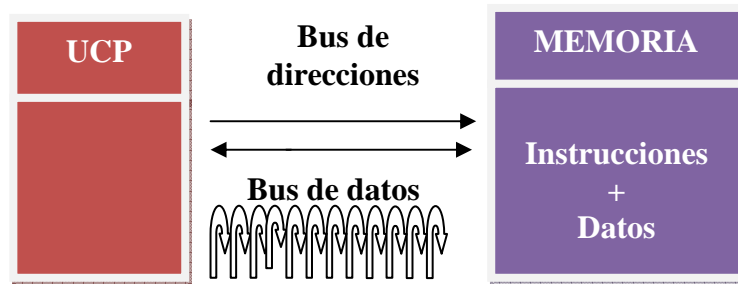


Figura 2.9.2.1.1: Arquitectura Von Neumann.

2.9.2.2 ARQUITECTURA HARVARD

Dispone de dos memorias independientes, una que contiene sólo instrucciones, y otra que contiene sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias, ésta es la estructura para los PIC's, tal como se muestra en la Figura 2.9.2.2.1

²²<http://r-luis.xbot.es/Pic1/Pic03.html>

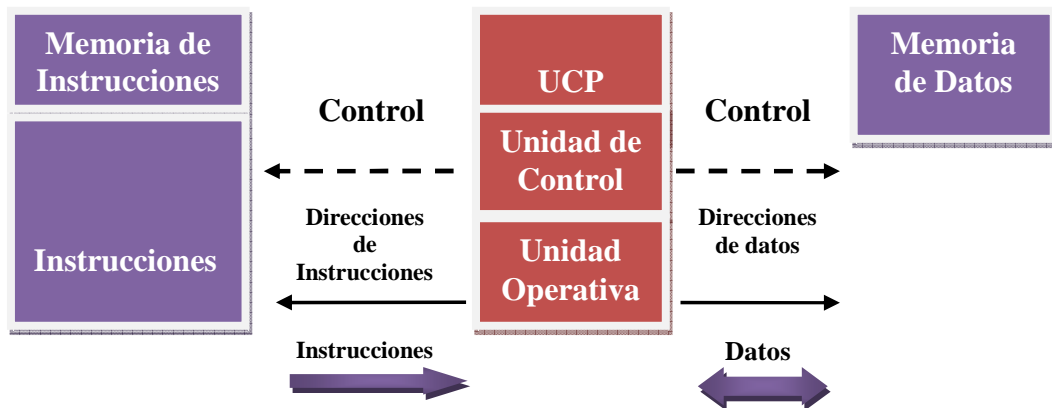


Figura 2.9.2.2.1: Arquitectura Harvard.

2.9.3 EL PROCESADOR O UCP

Es el elemento más importante del microcontrolador. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, decodificarlo y ejecutarlo, también realiza la búsqueda de los operandos y almacena el resultado.

2.9.4 MEMORIA DE PROGRAMA

Esta vendría a ser la memoria de instrucciones, aquí es donde se almacena el programa o código que el micro debe ejecutar. No hay posibilidad de utilizar memorias externas de ampliación.

2.9.4.1 MEMORIAS EEPROM

(Electrical Erasable Programmable Read Only Memory - Memoria de sólo lectura Programable y borrrable eléctricamente). Común en el PIC 16C84. Ésta tarea se hace a través de un circuito grabador y bajo el control de un PC. El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito aproximadamente 1000 veces. Este tipo de memoria es relativamente lenta.

2.9.4.2 MEMORIAS FLASH

Posee las mismas características que la EEPROM, pero ésta tiene menor consumo de energía y mayor capacidad de almacenamiento, por ello está sustituyendo a la memoria EEPROM.

2.9.5 MEMORIA DE DATOS

Tiene dos zonas diferentes:

2.9.5.1 RAM ESTÁTICA Ó SRAM

Donde residen los Registros Específicos (SFR) con 24 posiciones de tamaño byte, aunque dos de ellas no son operativas y los Registros de Propósito General (GPR) con 68 posiciones.

2.9.5.2 EEPROM

De 64 bytes donde, opcionalmente, se pueden almacenar datos que no se pierden al desconectar la alimentación.

2.9.6 SISTEMAS²³

El diagrama de un sistema microcontrolador sería algo así como se muestra en la Figura 2.9.6.1



Figura 2.9.6.1: Diagrama del sistema microcontrolador

Los dispositivos de entrada pueden ser un teclado, un interruptor, un sensor, etc.

Los dispositivos de salida pueden ser LED's, pequeños parlantes, zumbadores, interruptores de potencia (tiristores, optoacopladores), u otros dispositivos como relés, luces, un secador de pelo, etc.

Una representación en bloques del microcontrolador, demuestra la similitud, con un ordenador, con su fuente de alimentación, un circuito de reloj y el chip microcontrolador, el cual dispone de su CPU, sus memorias, y por supuesto, sus puertos de comunicación listos para conectarse al mundo exterior. Tal como se puede observar en la Figura 2.9.6.2

²³ <http://r-luis.xbot.es/Pic1/Pic01.html>

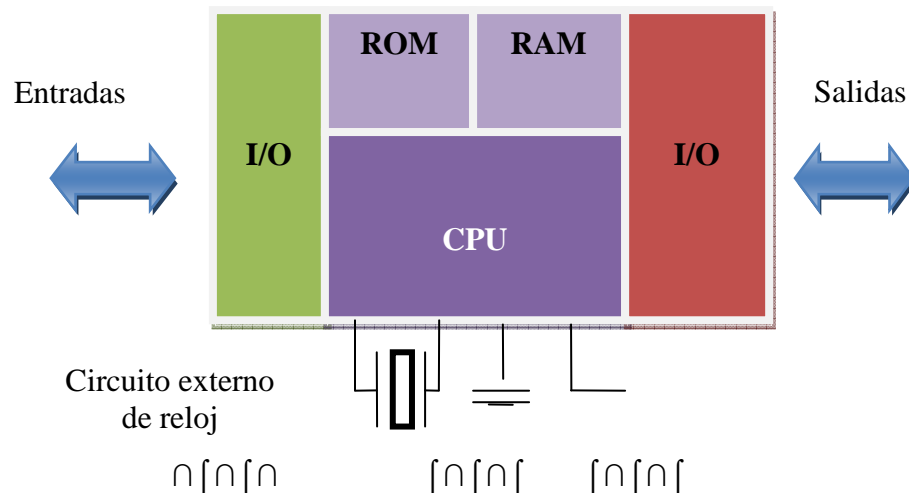


Figura 2.9.6.2: Diagrama en bloques del microcontrolador.

Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Estas son básicamente algunas de sus partes:

- **Memoria ROM** (Memoria de sólo lectura).
- **Memoria RAM** (Memoria de acceso aleatorio).
- **Líneas de entrada/salida (I/O)** También llamados puertos.
- **Lógica de control** Coordina la interacción entre los demás bloques.

2.9.7 FABRICANTES²⁴

- MicroChip.
- Atmel.
- Freescale.
- Renesas.
- ST.
- SiLabs.
- MAXim.
- Infineon.
- Fujitsu.
- National Semiconductor.
- Texas Instruments.

²⁴<http://unbarquero.blogspot.com/2007/11/hoy-me-he-dispuesto-hacer-una.html>

- Nec.
- NXP.
- Toshiba.
- OKI.
- Zilog.
- Sanyo.
- AnalogDevices.
- Cyan.
- Rabbit.
- Jennic

A continuación se detalla algunos de los principales fabricantes:

2.9.7.1 MICROCHIP²⁵

Empresa norteamericana, dedicada a la venta de **componentes electrónicos**, concretamente **memorias**, productos **analógicos**, **radio frecuencia** y **microcontroladores** entre otros.

La familia de microcontroladores de **8-bits** son llamados **PIC** (Peripheral Interface Controller) y la de **16-bits** son las llamadas **PIC24F**, **PIC24H**, **dsPIC30** y **dsPIC33**.

Los microcontroladores con nomenclatura dsPIC, son una familia de DSP (**D**igital **P**rocesing **D**ata), es decir, son procesadores de señal, **MicroChip** entra en el mundo del procesamiento de señal, con esta familia de microcontroladores de 16-bits.

También incluyen entre sus productos, microcontroladores de **32-bits**, son los llamados **PIC32**.

Hay que destacar que todos sus productos relacionados con los microcontroladores, llevan la terminología que tanto éxito les ha proporcionado: **PIC**.

²⁵<http://unbarquero.blogspot.com/2007/11/fabricante-mikroChip.html>

La arquitectura de ambos procesadores (tanto **8**, **16** y **32bits**) es la llamada Harvard.

2.9.7.1.1 ARQUITECTURA DE 8-BITS

- PIC10: Es la familia "**Baseline**" de **MicroChip**, son micros con 12-bits de palabra de programa y destacan por su bajo precio y número de pines escasos, hay micros de 6 a 14 pines. Son micros potentes ya que según modelo pueden contener periféricos de reloj interno, convertidor A/D, comparadores, interrupciones externas. Por lo tanto son ideales para cuando el tamaño es escaso y la cantidad de pines no es demasiado grande.
- PIC12: En esta familia, se puede distinguir en dos grandes grupos, el grupo "**Baseline**" y la "**Mid-Range**", es decir el medio rango de **MicroChip**. Son micros más potentes que la familia **PIC10** por tener más prestaciones. En caso de que el proyecto necesite más pines y periféricos internos que los que ofrece la familia **PIC10**, esta es la familia ideal, bajos costos y un número abundante de periféricos internos.
- PIC16: Esta familia es muy parecida a la **PIC12**, en cambio, dispone de más pines por lo tanto en algunos PIC's de esta familia, se puede encontrar varios periféricos juntos y listos para poder ser usados con sus respectivos pines. En esta familia también nació el mítico **PIC16C84**, un microcontrolador que alzó las ventas y la publicidad de la empresa **MicroChip**.
- PIC18: Es la familia más alta de **MicroChip**, y una de las que se están usando más acorde al paso del tiempo, los usuarios descubren esta fantástica familia y quedan encantados, micros con una cantidad de pines y periféricos considerables, por lo tanto, los hacen ideales para proyectos con envergadura y complejidad media-alta.

Para trabajar sobre estos procesadores, **MicroChip** pone a la disposición del usuario, el entorno de trabajo: **MPlab**, el cual es totalmente gratuito, donde se podrá programar, depurar e incluso grabar físicamente el microcontrolador con la herramienta necesaria.

Para la programación de estos microcontroladores, **MicroChip** ofrece de forma gratuita el lenguaje ASM (ensamblador), el cual está incluido en el MPLab. Para la serie mejorada, la familia **PIC18**, **MicroChip** dispone de un lenguaje de nivel medio-alto como es el C, llamado **C18**, el cual **no** es gratuito.

2.9.7.1.2 ARQUITECTURA DE 16-BITS

MicroChip, pone a disposición del usuario, dos familias cuyo procesador es de 16-bits. Una es la llamada **PIC24**, que sigue la línea de microcontroladores de 8-bits, y la otra es la denominada **dsPIC**, es la apuesta de **MicroChip** en el mundo del procesamiento de señal.

- **PIC24**: Microcontroladores con un alto rendimiento y de bajo costo. Se puede encontrar dos subfamilias, la denominada **PIC24F**, es la subfamilia que ofrece **MicroChip** para aplicaciones de bajo costo, donde se puede encontrar microcontroladores con memoria flash hasta 128 kBytes y una velocidad de procesamiento de 16 MIBPS. La otra subfamilia, es la denominada **PIC24H**, ésta es la hermana mayor que la anterior, donde son ideales para proyectos con un alto rendimiento, con una velocidad de procesamiento de 40 MIPS y memoria flash de programa hasta 256 kBytes entre otras cosas.
- **dsPIC**: Son dispositivos especializados en trabajar en el procesamiento digital de señales, se encuentran dos subfamilias, la subfamilia menor denominada **dsPIC30**, cuya aplicación es necesaria para proyectos de sistemas embebidos en tiempo real con una alimentación de 5V a una velocidad de procesamiento de 30 MIPS. La subfamilia grande, es la llamada **dsPIC33F**, y se distinguen de la anterior subfamilia, que la tensión de alimentación a una velocidad de procesamiento de 40 MIPS es de 3.3V, aparte ésta subfamilia dispone de más memoria de programa flash y de memoria RAM.

Para trabajar con estas dos grandes familias de 16-bits, **MicroChip** dispone a disposición del usuario el entorno de desarrollo MPLab, integrado en él, el compilador en ensamblador (ASM) llamado **ASM30**, aunque para estos dispositivos, el lenguaje más propicio para trabajar es el lenguaje C.

MicroChip dispone de un compilador en C, llamado C30, el cual no es gratuito.

2.9.7.1.3 ARQUITECTURA DE 32-BITS

En esta categoría, se encuentra sólo una familia, la denominada PIC32, diseñados para aplicaciones embebidas que requieran una cantidad de memoria mayor, un procesamiento de la información mayor, y una cantidad considerable de periféricos.

Para el trabajo con esta categoría, **MicroChip** ofrece el entorno de trabajo MPLab, el cual incluye el compilador en ensamblador de forma gratuita denominado **ASM32**, pero para esta categoría, se aconseja utilizar un lenguaje de nivel medio-alto, tal como es el caso del lenguaje C.

MicroChip ofrece el compilador C32, el cual no es gratuito, pero ofrece una versión gratuita, por lo tanto el compilador será configurado como versión estudiante, y será totalmente funcional siempre y cuando no se supere un máximo de **64 kBytes** de código.

MicroChip acepta en su entorno de desarrollo (**Mplab**), otras empresas que crean compiladores ya sea en **C** o **BASIC** para sus dispositivos, algunas empresas crean compiladores en C para las familias de **PIC**:

- CCS.
- Hi-Tech.
- IAR.
- MikroC de miKroElectronika.
- Etc.

2.9.7.2 ATMEL²⁶

Empresa Norteamericana, sus productos se basan en todo lo relacionado a los **semiconductores**, **memorias**, dispositivos lógicos programables (**CPLD**, **FPGA**), **microcontroladores**, etc.

²⁶ <http://unbarquero.blogspot.com/2007/11/fabricante-atmel.html>

Atmel posee en fabricación, derivados del famoso **8051**, micros con arquitectura basada en **ARM** y sus arquitecturas propias: **AVR** y **AVR32**.

2.9.7.2.1 ARQUITECTURA AVR

Esta arquitectura se basa en procesadores basados con núcleos RISC y arquitectura Harvard.

Atmel distingue sus dispositivos AVR en las siguientes categorías:

- **Automotive AVR:** Son microcontroladores donde su principal característica es que poseen periféricos integrados tales como convertidores A/D de 10-bits, bus CAN, periféricos de control de anchura de pulsos (PWM). Por lo tanto se convierte en una familia ideal para aquellos proyectos que se requieran varios canales de convertidores A/D, PWM, etc.
- **AVR Z-Link:** Microcontroladores especializados en trabajos basados en la tecnología Zigbee.
- **CAN AVR:** Son micros que poseen más de un canal del bus CAN, en sus versiones V2.0A and V2.0B estándares, por lo tanto serán ideales para cuando un proyecto requiera controlar y manejar varios dispositivos de bus CAN.
- **LCD AVR:** Dispositivos creados para el manejo de segmentos de LCD, oscilan del 4 X 25 Segment LCD Driver al 4 X 40 Segment LCD Driver.
- **Lighting AVR:** Especialmente diseñados para controlar lámparas y motores, eso significa, que su principal ventaja en periféricos, son: varios canales de convertidor A/D, varios canales de PWM, periférico PSC con 4-bit del protocolo DALI.
- **Mega AVR:** Esta familia es una familia de microcontroladores estándar de Atmel, donde según el proyecto, se tendrá varios dispositivos englobados en esta familia que cubran nuestras necesidades.
- **Smart Battery AVR:** Microcontrolador dedicado a dispositivos que requieren baterías, es un dispositivo que su consumo de batería es muy bajo, ideal para proyectos móviles o portátiles.
- **Tiny AVR:** Esta familia es estándar, al igual que la familia mega AVR, cuya cualidad es su tamaño y número de pines, se dicen que son los "pequeños" en número de pines de la gama AVR.
- **USB AVR:** Especialidad de esta familia es la de controlar y manejar el USB.

Atmel, dispone de un software para poder trabajar con estos dispositivos, llamado **AVR Studio**, el cual es totalmente **gratuito**.

El lenguaje de programación por defecto es el ASM (ensamblador) que viene incluido con el AVR Studio sin costo ninguno. Aunque Atmel expone que la arquitectura de sus microcontroladores están capacitados para trabajar en lenguaje C.

Existen fabricantes que han desarrollado compiladores en C para trabajar con el AVR Studio, entre ellos se destacan:

- IAR.
- Code Vision.
- Win AVR. Compilador gratuito.
- Etc.

2.9.7.3 TEXAS INSTRUMENTS²⁷

Empresa Norteamericana, es una empresa líder en fabricación de semiconductores, entre sus productos destacan los **DSP** y **microcontroladores**.

Esta empresa, es normalmente conocida por sus siglas **TI**, donde su jerarquía de microcontroladores son: **16-bits**, **32-bits** (basados en arquitectura ARM7) y los **DSP** (Digital Signal Controller).

2.9.7.3.1 ARQUITECTURA DE 16-BITS

Estos microcontroladores destacan por ser de bajo consumo, con arquitectura RISC, y es el denominado MSP430.

Destacan varias categorías para esta familia.

- MSP430x1xx: Son microcontroladores de propósito general y de bajo consumo, no tienen módulos LCD y su memoria es del tipo flash-ROM.
- MSP430F2xx: Son microcontroladores basados en memoria flash con una rapidez de procesamiento bastante alta, 16 MIPS con una cantidad de periféricos notables para proyectos complejos en necesidad de memoria y periféricos.

²⁷ <http://unbarquero.blogspot.com/2007/11/texas-instruments.html>

- **MSP430x3xx**: Son microcontroladores basados en memoria OTP, están orientados para procesos industriales, su velocidad de procesamiento es de 8 MIPS con una cantidad de memoria de programa considerable.
- **MSP430x4xx**: Es la categoría alta de **TI**, con una cantidad de memoria alta al igual que su velocidad de procesamiento. Con módulo LCD y tecnología de memoria flash.
- **Texas Instruments**, dispone al usuario una serie de herramientas para trabajar con esta arquitectura, todas estas herramientas se pueden ver en: Development Tools.

2.9.7.3.2 ARQUITECTURA DE 32-BITS

En esta arquitectura, se dispone lo que son mundialmente conocidos, como los procesadores de señal, **Texas Instruments**, es líder en este sector. Se puede encontrar varias familias.

- **TMS320F283xx**: Controladores en punto flotante.
- **TMS320F281x**: Controladores capaces de trabajar a 150 MIPS de procesamiento.
- **TMS320F280xx**: Controladores capaces de trabajar a 100 MIPS.
- **TMS320LF240x**: Vieja arquitectura de **16-bits**, capaces de trabajar a 40 MIPS. Se ha puesto esta familia aquí, para no partir la familia de los **DSP**, aunque no es de arquitectura de 32-bits.

Texas Instruments, dispone al usuario una serie de herramientas para trabajar con esta arquitectura, todas estas herramientas se pueden ver en: Development Tools.

2.9.7.3.3 ARQUITECTURA ARM

Aunque son microcontroladores de **32-bits**, se los ha designado en una arquitectura aparte, por estar basados en el núcleo **ARM7**. Se puede distinguir entre dos familias dependiendo de su aplicación.

- **TMS470** : Dedicados para procesos industriales. Para trabajar con esta familia, tenemos TMS470R1B1M Kickstart IAR Embedded Workbench with IDE.
- **TSM470**: Dedicados en la automatización.

2.10 TIPOS DE LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN PARA EL MICROCONTROLADOR

En realidad, hay algunos lenguajes de programación entre los que se destaca 4 de los más importantes y utilizados: assembler, BASIC, C y Pascal son los lenguajes más populares para microcontroladores. A continuación se listará las ventajas y desventajas de cada uno de estos.

2.10.1 ASSEMBLER

El lenguaje ensamblador se uso para la creación de programas en el pasado, actualmente se usa muy poco. Únicamente cuando se requiere un control directo del hardware o se quiere conseguir rendimientos poco comunes de los equipos.

Un programa escrito con el lenguaje ensamblador seguirá los siguientes pasos: este programa tiene una serie de instrucciones que contienen las órdenes a seguir para llevar a cabo una acción. Todas estas órdenes son cargadas en la memoria de la computadora.

Ventajas:

- Es el lenguaje de bajo nivel natural de la línea PIC tanto para gama baja, media o alta.
- Con él se tiene un aprovechamiento eficiente de los recursos del PIC.
- Se pueden crear macros con este lenguaje, para después simplificar el código en diferentes desarrollos.
- Con él se pueden controlar los tiempos y los registros bit a bit.
- Excelente para manejar interrupciones simultáneas.
- Cuando se genera el archivo .hex éste es completamente optimizado.

Desventajas:

- En realidad no existe ninguna, excepto cuando no se tiene experiencia en programación puede tardarse el desarrollo de alguna rutina en comparación con los otros lenguajes.

2.10.2 Lenguaje C

²⁸ Es un lenguaje bastante conciso y en ocasiones desconcertante. Considerado ampliamente como un lenguaje de alto nivel, posee muchas características importantes, tales como: programación estructurada, un método definido para llamada a funciones y para paso de parámetros, potentes estructuras de control, etc.

Sin embargo gran parte de la potencia de C reside en su habilidad para combinar comandos simples de bajo nivel, en complicadas funciones de alto nivel, y en permitir el acceso a los bytes y words del procesador. En cierto modo, C puede considerarse como **una clase de lenguaje ensamblador universal**.

Consideraciones dignas de destacar para el C en un microcontrolador son:

- Control de los periféricos internos y externos del chip.
- Servicio de las interrupciones.
- Hacer el mejor uso de los limitados conjuntos de instrucciones.
- Soportar diferentes configuraciones de ROM/RAM.
- Un alto nivel de optimización para conservar el espacio de código.
- Control de la conmutación de registros.

²⁹Ventajas

1. Lenguaje compilado - siempre corre rápido.
2. Estandarizados del lenguaje (ANSI) - más fácil de portar a diferentes compiladores / dispositivos de destino.
3. Muchos compiladores disponibles.
4. Muchas funciones integradas (según el compilador).
5. Muy popular gran base de usuarios con programas de ejemplo muchas.
6. Se utiliza en muchas industrias diferentes.
7. Utilizable a nivel de hardware, así como mayores niveles de abstracción (aunque C++ es mejor para los modelos de programación muy abstracto).

²⁸ http://icaro.eii.us.es/descargas/PROGRAMACIÓN_C_microcontroladores.pdf

²⁹ <http://www.compute-rs.com/es/consejos-304654.htm>

Desventajas

1. Difícil de conocer de primera.
2. La comprobación de tipos fuente significa que se pasa el tiempo agradable el compilador (aunque esto lo protege de cometer errores).

2.10.3 BASIC

Basic es un lenguaje de programación de alto nivel.

Ventajas

1. Muy fácil de aprender y usar.
2. Un compilador BASIC producir código que se ejecuta más rápido que un compilador de C.
3. Muchas funciones integradas (según el compilador).
4. Muy popular gran base de usuarios con programas de ejemplo.

Desventajas

1. No estándar del lenguaje.
2. Si se utiliza un HLL interpretado con gran lentitud.

Nota: Debido a que el idioma no es el estándar será difícil mover el código a un tipo de procesador nuevo.

2.10.4 PASCAL**Ventajas**

1. Fácil de aprender y usar.
2. Un compilador de Pascal produce código que se ejecuta más rápido que un compilador de C.
3. Muchas funciones integradas (según el compilador).

Desventajas

1. No tan popular como C a fin de que no posee muchos compiladores.
2. Un poco prolijo que fue pensado originalmente como lengua de enseñanza.
3. No es tan flexible como C.

2.11 SENSORES DE HUMEDAD³⁰

2.11.1 INTRODUCCIÓN

Dispositivo formado por células sensibles que detecta variaciones en una magnitud física y las convierte en señales útiles para un sistema de medida o control.

Sensor un dispositivo que mide de manera automática una **variable**, como puede ser la temperatura, humedad y la presión o inclusive el régimen de giro, entre otras cosas.

2.11.2 TIPOS

Existen varios tipos de **Sensores de humedad**, según el principio físico.

Sensores de humedad más usuales:

2.11.2.1 MECÁNICOS

Aprovechan los cambios de dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad. Como por ejemplo: fibras orgánicas o sintéticas, el cabello humano.

2.11.2.2 BASADOS EN SALES HIGROSCÓPICAS

Deducen el valor de la humedad en el ambiente a partir de una molécula cristalina que tiene mucha afinidad con la absorción de agua.

2.11.2.3 POR CONDUCTIVIDAD

La presencia de agua en un ambiente permite que a través de unas rejillas de oro circule una corriente. Ya que el agua es perfecta conductora de corriente. Según la medida de corriente se deduce el valor de la humedad.

2.11.2.4 CAPACITATIVOS

Se basan tan sencillamente en el cambio de la capacidad que sufre un condensador en presencia de humedad.

³⁰ <http://www.wordreference.com/definicion/sensor>

2.11.2.5 INFRARROJOS

Estos disponen de 2 fuentes infrarrojos que lo que hacen es absorber parte de la radiación que contiene el vapor de agua.

2.11.2.6 RESISTIVOS

Aplican un principio de conductividad. Es decir, con más cantidad de agua en la muestra, más alta es la conductividad. Es una proporcionalidad.

2.12 DISEÑO WEB

Se denomina **aplicación web** a aquellas aplicaciones que los usuarios pueden utilizar accediendo a un servidor web a través de Internet o de una intranet mediante un navegador. En otras palabras, es una aplicación software que se codifica en un lenguaje soportado por los navegadores web (HTML, Java Script, Java, Asp.net, etc.) en la que se confía la ejecución al navegador.

2.12.1 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN PARA LA INTERFAZ

2.12.1.1 PHP

Es un lenguaje de programación interpretado, diseñado originalmente para la creación de páginas web dinámicas. PHP es un lenguaje interpretado de propósito general ampliamente usado y que está diseñado especialmente para desarrollo web y puede ser incrustado dentro de código HTML. Generalmente se ejecuta en un servidor web, tomando el código en PHP como su entrada y creando páginas web como salida. Puede ser desplegado en la mayoría de los servidores web y en casi todos los sistemas operativos y plataformas sin costo alguno. PHP se encuentra instalado en más de 20 millones de sitios web y en un millón de servidores, aunque el número de sitios en PHP ha compartido algo de su preponderante sitio con otros nuevos lenguajes no tan poderosos.

2.12.1.2 ASP³¹

Active Server Pages (ASP) es una tecnología de Microsoft del tipo "lado del servidor" para páginas web generadas dinámicamente, que ha sido comercializada como un anexo a Internet Information Services (IIS).

La tecnología ASP está estrechamente relacionada con el modelo tecnológico de su fabricante. Intenta ser solución para un modelo de programación rápida ya que programar en ASP es como programar en Visual Basic, por supuesto con muchas limitaciones.

Lo interesante de este modelo tecnológico es poder utilizar diversos componentes ya desarrollados como algunos controles ActiveX así como componentes del lado del servidor, tales como CDONTS, por ejemplo, que permite la interacción de los scripts con el servidor SMTP que integra IIS.

Se facilita la programación de sitios web mediante varios objetos integrados, como por ejemplo un objeto de sesión basada en cookies, que mantiene las variables mientras se pasa de página a página.

2.12.1.3 ASP.NET

Es un framework para aplicaciones web desarrollado y comercializado por Microsoft. Es usado por programadores para construir sitios web dinámicos, aplicaciones web y servicios web XML. Apareció en enero de 2002 con la versión 1.0 del .NET Framework, y es la tecnología sucesora de la tecnología Active Server Pages (ASP). ASP.NET está construido sobre el Common Language Runtime, permitiendo a los programadores escribir código ASP.NET usando cualquier lenguaje admitido por el .NET Framework.

2.12.1.4 JAVA

Es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado por Sun Microsystems a principios de los años 90. El lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++, pero tiene un modelo de objetos más simple y elimina herramientas de bajo nivel, que suelen inducir a muchos errores, como la manipulación directa de punteros o memoria.

³¹ <http://es.wikipedia.org/wiki>

2.12.1.5 HTML

Siglas de **Hyper Text Markup Language** (Lenguaje de Marcas de Hipertexto), es el lenguaje de marcado predominante para la construcción de páginas web. Es usado para describir la estructura y el contenido en forma de texto, así como para complementar el texto con objetos tales como imágenes. HTML se escribe en forma de "etiquetas", rodeadas por corchetes angulares (<,>). HTML también puede describir, hasta un cierto punto, la apariencia de un documento, y puede incluir un script (por ejemplo Javascript), el cual puede afectar el comportamiento de navegadores web y otros procesadores de HTML.

2.13 BASE DE DATOS³²

Base de Datos es un conjunto exhaustivo no redundante de datos estructurados organizados independientemente de su utilización y su implementación en máquinas accesibles en tiempo real y compatibles con usuarios concurrentes con necesidad de información diferente y no predicable en tiempo.

2.13.1 TIPOS DE BASE DE DATOS³³

Entre los diferentes tipos de base de datos, se encuentran los siguientes:

2.13.2 MYSQL

Es una base de datos con licencia GPL basada en un servidor. Se caracteriza por su rapidez. No es recomendable usar para grandes volúmenes de datos.

2.13.3 POSTGRESQL Y ORACLE

Son sistemas de base de datos poderosos. Administra muy bien grandes cantidades de datos, y suelen ser utilizadas en intranets y sistemas de gran calibre.

2.13.4 ACCESS

Es una base de datos desarrollada por Microsoft. Esta base de datos, debe ser creada bajo el programa Access, el cual crea un archivo .mdb.

³² <http://www.monografias.com/trabajos11/basda/basda.shtml>

³³ <http://www.maestrosdelweb.com/principiantes/%C2%BFque-son-las-bases-de-datos/>

2.12.5 MICROSOFT SQL SERVER

Es una base de datos más potente que Access desarrollada por Microsoft. Se utiliza para manejar grandes volúmenes de informaciones.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

En el presente capítulo, se determina los requerimientos necesarios tanto de hardware como software con la información obtenida en el capítulo anterior, para la realización de este proyecto.

3.1 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

3.1.1 SENSOR DE HUMEDAD

3.1.1.1 HUMIREL HS1101

El HUMIREL HS1101 es un sensor capacitivo de bajo costo de humedad. Actúa como un condensador variable que cambia de acuerdo a la humedad.

Es exacta a la humedad a menos de 1,5% en relación, y pueden medir la humedad del 1-99%. Su forma física se muestra en la Figura 3.1.1.1



Figura 3.1.1.1.1: Sensor HUMIREL HS1101.

CARACTERÍSTICAS³⁴

- Intercambiabilidad total, en condiciones normales no requiere calibración.
- Desaturación instantánea después de largos periodos en fase de saturación.
- Compatible con el proceso de montajes automatizados, incluso soldadura por ola.

³⁴ <http://www.terra.es/personal/fremiro/Archivos/HS1100es.pdf>

- Alta fiabilidad y largo tiempo de estabilidad.
- Estructura de polímero solido patentada.
- Apropiado para circuitos lineales o de impulsos.
- Tiempo de respuesta rápido.

A continuación se detalla las características del sensor HS1101 en la Tabla 3.1.1.1.2

Características	Símbolo	Min	Typ	Max	Unidades
Rango de medida de la humedad	RH	1		99	%
Tensión de alimentación	Vs		5	10	V
Capacidad nominal@55%RH	C	177	180	183	PF
Coeficiente de temperatura	Tcc		0.04		PF%C
Sensibilidad media de 33% a 75% RH	$\Delta C/\%RH$	0.34			PF%RH
Corriente de fuga (Vcc=5V)	Ix		1		nA
Tiempo de la recuperación despues de 150 horas de condensación	Tr		10		s
Histeresis de humedad			+/-1.5		%
Estabilidad de largo tiempo			0.5		%RH/yr
Tiempo de respuesta (33 a 76% RH, todavia aire @63%)	Ta		5		s
Desviacion en la curva(10% a 90% RH)			+/-2		%RH

Tabla 3.1.1.1.2: Características del sensor HS1101³⁵.

3.1.1.2 SENSOR DE HUMEDAD HIH-3610-001

El sensor Honeywell HIH-3610-001, convierte directamente humedad a tensión con circuito incorporado de acondicionamiento y se vende en un pequeño encapsulado de 3 pines. Dos de ellas se conectan a una fuente regulada de 5V, mientras que la tercera brinda una tensión de salida lineal que es proporcional a la humedad. Esto significa que se puede conectar directamente al Datalogger (mediante el conector CT4) sin ningún circuito adicional. Como con todos los sensores de humedad, hay que tener cuidado de no tocar el

³⁵<http://www.gmelectronica.com.ar/>

área sensible del dispositivo, dado que la humedad o la grasa de la mano podría dañar el sensible elemento sensor.

La tensión de salida del sensor se mide con el convertidor analógico-digital interno (ADC) y se almacena en una variable (por ejemplo, b1) como un número entre 0 y 255. Cada escalón del ADC es $5V/256 = 0.0195$, usando una fuente de alimentación de 5V. Tal como se muestra en la Figura 3.1.1.2.1

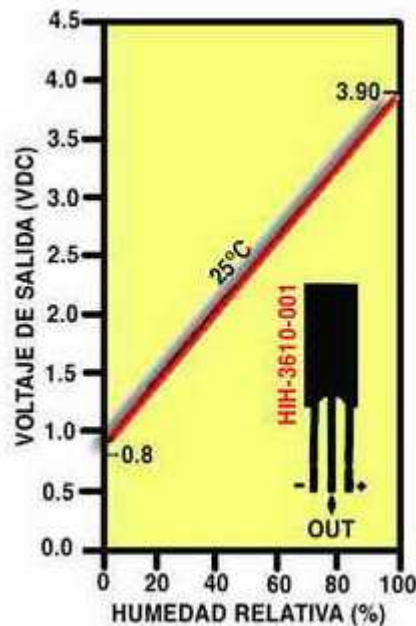


Figura 3.1.1.2.1: Sensor de humedad HIH-3610-001.

3.1.1.3 SENSOR DE HUMEDAD SHT11

El SHT11 de Sensirion es un sensor integrado de humedad, calibrado en fábrica y con salida digital. La comunicación se establece a través de un bus serie síncrono, usando un protocolo propio. El dispositivo posee además en su interior un sensor de temperatura para compensar la medición de humedad con respecto a la temperatura, de ser necesario. Cuenta también con un calefactor interno que evita la condensación en el interior de la cápsula de medición en condiciones de niebla o cuando existe condensación.

Las características del integrado SHT11 son:

- Dos sensores: humedad relativa y temperatura.
- Rango de medición: Humedad relativa 0-100%.
- Precisión en humedad relativa: $\pm 3\%$.
- Precisión en temperatura: $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Salida calibra y salida digital (interfaz de dos líneas).

- Respuesta rápida: < 4 segundos
- Bajo consumo: (típico 30 μ W)
- Bajo costo
- Diseñado para aplicaciones de gran volumen de costo sensible
- Tecnología de avanzada CMOSens, para estabilidad superior a largo plazo
- Facilidad de uso debido a la calibración y a la interfaz digital de dos líneas

El SHT11 se puede alimentar con un rango de tensión comprendido entre 2,4 a 5V. El sensor se presenta en forma de un encapsulado para montaje superficial LCC (Lead Chip Carrier) como se muestra en la Figura 3.1.1.3.1



Figura 3.1.1.3.1: Sensor de humedad STH11.

DATASHEET DEL SENSOR DE HUMEDAD HS1101

Ver Anexo A: Datasheet del sensor de humedad HS1101

3.1.2 MICROCONTROLADORES

De acuerdo a las necesidades y requerimientos del proyecto, se ha seleccionado el microcontrolador 16F870 de gama media, su análisis costo – beneficio, fácil adquisición en el mercado puesto que las especificaciones técnicas se ajustan a los requerimientos de nuestro proyecto, como se vio en el capítulo II.

3.1.2.1 MICROCONTROLADOR PIC 16F870

3.1.2.1.1 CARACTERÍSTICAS³⁶

A continuación se detalla las características del Pic 16F870 en las Tablas 3.1.2.1.1.1, 3.1.2.1.1.2 y 3.1.2.1.1.3.

Características	Pic 16F870
Memoria de programa Flash (palabras de 14 bits)	2048
Memoria de datos SRAM (bytes)	128
Memoria de datos EEPROM (bytes)	64
Líneas de E/S	22
Canales A/D	5
PWM	1
MSSP SPI	No
MSSP I ² C Maestro	No
USART	Si
Comparadores	No

Tabla 3.1.2.1.1.1: Características del Pic 16F870.

FEATURA	PIC16F870
On-chip Programm Memory(Kbytes)	2k
DataMemory (bytes)	128
Boot Block (bytes)	2048
Timer 1 Low Power Option	Yes
I/O Ports	Ports A, B, C
A/D Channels	5
External Memory Interface	No
Package Types	28-pin DIP, SOIC, SSOP

Tabla 3.1.2.1.1.2: Características del Pic 16F870.

³⁶<http://www.rodrigog.com/Pic/Pic16f870.pdf>

	PIC16F870
Operating Frequency	DC – 20 Mhz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWR, OST)
FLASH Program Memory (14 bit words)	2k
Data Memory (bytes)	128
EEPROM Data Memory	64
Interrupts	10
I/O Ports	Ports A,B,C
Capture/Compare/PWM modules	1
Serial Communications	USART
Parallel Communications	-
10 bit Analog-to-Digital Module	5 Input channels
Instruction Set	35 Instructions

Tabla 3.1.2.1.1.3: Características del Pic 16F870.

3.1.2.1.2 DIAGRAMA DE PINES

A continuación se detallará la distribución de pines del Pic 16F870 en la Figura 3.1.2.1.2.1

DIP, SOIC, SSOP

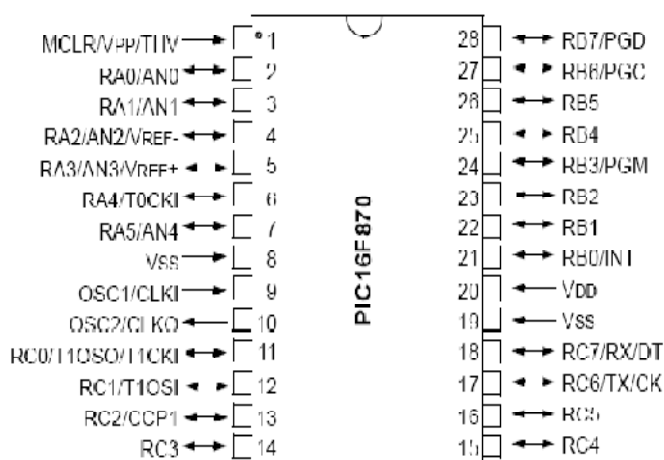


Figura 3.1.2.1.2.1: Diagrama de pines del PIC 16F870.

DATA SHEET DEL MICROCONTROLADOR 16F870

Ver en anexo B: Data Sheet del Pic 16F870

3.1.3 DISPOSITIVOS ZIGBEE

En la actualidad existen una gran variedad de módulos Zigbee por lo cual, se va a describir las características más importantes para adaptar la información para los fines pertinentes.

3.1.3.1 AD-PIXIE DARC³⁷

Firmware gratuito para los módulos **AD-Pixie**. Proporciona funciones de adquisición de datos y control remoto. Es compatible con todos los productos que usen el perfil Mailbox de Zigbee.

3.1.3.2 AD-EASYBEE SO

Módulo transceptor de RF a 2,4Ghz que cumple la norma IEEE 802.15.4. Permite a los diseñadores incorporar de forma muy sencilla las capacidades IEEE 802.15.4 / Zigbee a sus productos sin necesidad de ser expertos en Radio Frecuencia (RF) o en diseño de antenas.

3.1.3.3 TEHU1121

El **TEHU1121** es un nodo de la red de sensores inalámbricos Sensicast A2400. Funciona con RF a 2,4Ghz. Se usa como nodo de transmisión de datos de temperatura y humedad a una aplicación de gestión centralizada.

3.1.3.4 XBEE³⁸

Módulos xbee con alcance en interiores de hasta 30 mts en exteriores el alcance es de hasta 100 mts con antena dipolo en la imagen se muestran los 3 diferentes tipos de xbee.

³⁷ <http://www.albedo.biz/technology/011/>

³⁸ <http://www.modulos Zigbee\XBEE.htm>

3.1.3.5 XBEE PRO

Módulos xbee pro con alcance en interiores de hasta 100 mts en exteriores el alcance es de hasta 1500 mts con antena dipolo en la imagen se muestran los 3 diferentes tipos de xbee pro.

DATA SHEET DEL XBEE

Ver en anexo C: Data Sheet del xbee.

3.2 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE PARA DISEÑO DE HARDWARE

En lo que se refiere a requerimientos de software para el proyecto se dividió en dos partes: software para diseño esquemático, simulación y diseño de la PCB.

3.2.1 SOFTWARE PARA DISEÑO Y SIMULACIÓN

3.2.1.1 EAGLE

Eagle (Easily Applicable Grafical Layout Editor) es un software para diseño de esquemas electrónicos, placas de circuito impreso (PCB) y simulación.

Eagle es un programa que tiene tres módulos: el editor de layout, el editor de esquemas y el routeador automático, todo esto integrado en un mismo entorno. Este software tiene una extensa biblioteca de componentes, además de un editor de componentes que también está disponible para diseñar plantillas nuevas o modificar las ya existentes.

3.2.1.2 PROTEL DXP

Protel DXP es un sistema de diseño completo para entornos Windows y proporciona un conjunto de herramientas integradas formadas por un gestor de documentos integrado, un capturador de esquemáticos, un simulador analógico basado en SPICE (vista en 3D), un simulador digital basado en CUPL (lenguaje similar a ORCAD/PLD), una herramienta de diseño de placas de circuito impreso (PCBs) y soporte para trabajo en redes de ordenadores.

Protel permite hacer básicamente dos cosas: una, es la de crear el esquema del circuito y la otra es la creación del PBC (Placa del circuito para imprimir). Esto ayuda para hacer un montaje superficial y realizar las pruebas necesarias.

3.2.1.3 PROTEUS ³⁹

Es un entorno integrado diseñado para la realización completa de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño, simulación, depuración y construcción. La suite se compone de cuatro elementos, perfectamente integrados entre sí:

ISIS, la herramienta para la elaboración avanzada de esquemas electrónicos, que incorpora una librería de más de 6.000 modelos de dispositivos digitales y analógicos.

ARES, la herramienta para la elaboración de placas de circuito impreso con posicionador automático de elementos y generación automática de pistas, que permite el uso de hasta 16 capas. Con ARES el trabajo duro de la realización de placas electrónicas recae sobre el PC en lugar de sobre el diseñador.

PROSPICE, la herramienta de simulación de circuitos según el estándar industrial SPICE3F5.

VSM, la revolucionaria herramienta que permite incluir en la simulación de circuitos el comportamiento completo de los microcontroladores más conocidos del mercado. PROTEUS es capaz de leer los ficheros con el código ensamblado para los microprocesadores de las familias PIC, AVR, 8051, HC11, ARM/LPC200 y BASIC STAMP y simular perfectamente su comportamiento. Incluso puede ver su propio código interactuar en tiempo real con su propio hardware pudiendo usar modelos de periféricos animados tales como displays LED o LCD, teclados, terminales RS232, simuladores de protocolos I2C, etc. Proteus es capaz de trabajar con los principales compiladores y ensambladores del mercado.

De las características de los softwares para diseño de PCB y simulación se optó por escoger el PROTEUS debido a su amplia gama de librerías y facilidad de manejo.

Para la programación de microcontroladores en el mercado existen numerosas aplicaciones como son: MikroBasic, MikroC y Protón entre otros.

A continuación se describe un breve resumen con las características más representativas de cada uno de los lenguajes de programación para microcontroladores.

³⁹ http://www.mecatronika.com/2009/03/simulador_proteus_74_sp3/

3.2.2 SOFTWARE PARA LA PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES

3.2.2.1 MIKROC⁴⁰

El MikroC es un lenguaje C para Microcontroladores muy potente tiene muchas librerías que nos permite programar fácilmente usando un Display LCD, LCD Gráfico, un teclado BCD, funciones matemáticas, manejar el puerto USB, Módulos de Transmisión por Radio y muchas otras librerías más.

3.2.2.2 MIKROBASIC⁴¹

La empresa mikroElektronika, que distribuye un compilador BASIC para PICs llamado mikroBasic. Las características más destacadas de este compilador es la inclusión de un entorno de desarrollo integrado que hace muy cómoda la programación, ya que resalta la sintaxis del lenguaje, proporciona acceso muy rápido a la excelente ayuda incluida, estadísticas sobre el uso de recursos del microcontrolador, y muchas ventajas más. Soporta muchos modelos de micros y además dispone de un enorme grupo de librerías, divididas en comunicaciones RS-232, RS-485 e I2C; teclados PS/2, conexiones USB, interfaz para LCD, etc., etc.

Entre sus funciones se encuentran:

- Asistente de código avanzado.
- Asistente de parámetros para rutinas.
- Debugger con muchas opciones.
- Estadísticas detalladas.
- Rutinas incorporadas.
- Explorador de código.

3.2.2.3 PROTON

Protón development es un software para la programación de microcontroladores PIC, contiene un entorno de desarrollo integrado IDE, y también un entorno de simulación virtual. Protón IDE permite un desarrollo más rápido e intuitivo de la programación de microcontroladores PIC, posee una amplia librería la cual esta presta a cubrir las

⁴⁰<http://www.todoPic.com.ar/foros/index.php?PHPSESSID=c2295769a1808fef4c78dfb5774573c5&toPic=26659.0>

⁴¹<http://www.automatismos-mdq.com.ar/blog/2008/01/mikrobasic-compilador-basic-para-Pics.html>

necesidades del microcontrolador. Este software permite realizar simulaciones del código en tiempo real con el módulo de simulación de ISIS.

De las características anteriormente mencionadas, se optó por utilizar MikroC de la empresa Mikroelektronika, debido a que ofrece bibliotecas para aplicaciones seriales. Por esta razón se utilizará MikroC, para el PIC 16F870.

3.2.3 PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ

Es necesario realizar un programa para la visualización de los resultados de la transmisión Zigbee, para ello se diseñará la interfaz gráfica mediante un lenguaje de programación. A continuación, se describirá las características más relevantes de algunos lenguajes de programación.

3.2.3.1. PHP

⁴²El **php** (acrónimo de php: hyper text preprocessor), es un lenguaje interpretado de alto nivel embebido en páginas html y ejecutado en el servidor. El **php** inicio como una modificación a perl escrita por rasmuslerdorf a finales de 1994. Su primer uso fue el de mantener un control sobre quien visitaba su curriculum en su web.

⁴³Un lenguaje del lado del servidor es aquel que **se ejecuta en el servidor web**, justo antes de que se envíe la página a través de internet al cliente. Las páginas que se ejecutan en el servidor pueden realizar accesos a bases de datos, conexiones en red, y otras tareas para crear la página final que verá el cliente. El cliente solamente recibe una página con el código html resultante de la ejecución de la php. Como la página resultante contiene únicamente código html, es compatible con todos los navegadores.

3.2.3.2 ASP

Microsoft introdujo esta tecnología llamada **Active Server Pages** en diciembre de 1996, por lo que no es nada nueva. Es parte del Internet Information Server (IIS) desde la versión 3.0 y es una tecnología de páginas activas que permite el uso de diferentes scripts y componentes en conjunto con el tradicional HTML para mostrar páginas generadas

⁴² <http://www.maestrosdelweb.com/editorial/phpintro/>

⁴³ <http://www.desarrolloweb.com/articulos/392.php>

dinámicamente, traduciendo la definición de **Microsoft**: “Las Active Server Pages son un ambiente de aplicación abierto y gratuito en el que se puede combinar código HTML, scripts y componentes ActiveX del servidor para crear soluciones dinámicas y poderosas para el web”.

El ASP es una tecnología dinámica funcionando del lado del servidor, lo que significa que cuando el usuario solicita un documento ASP, las instrucciones de programación dentro del script son ejecutadas para enviar al navegador únicamente el código HTML resultante. La ventaja principal de las tecnologías dependientes del servidor radica en la seguridad que tiene el programador sobre su código, ya que éste se encuentra únicamente en los archivos del servidor que al ser solicitado a través del web, es ejecutado, por lo que los usuario no tienen acceso más que a la página resultante en su navegador.

3.2.3.3 JAVA

⁴⁴Lenguaje de programación orientado a objetos. Fue desarrollado por James Gosling y sus compañeros de Sun Microsystems al principio de la década de los 90.

La programación en Java es compilada en bytecode, el cuál es ejecutado por la máquina virtual java. Usualmente se usa un compilador jit. El lenguaje es parecido a c y c++, aunque su modelo de objetos es más sencillo, y fue influenciado también por smalltalk, y eiffel.

Para la interfaz de comunicación entre el micro y el computador se utilizará PHP, es de fácil manejo y además es un lenguaje amigable, con un entorno de desarrollo gráfico el mismo que se maneja con mayor conocimiento.

3.2.4 PROGRAMACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Es necesario realizar una base de datos para la almacenar los resultados medidos por el sensor de humedad, para ello se diseñará la base de datos mediante un lenguaje de programación. A continuación, se describirá las características más relevantes de algunos lenguajes de programación.

⁴⁴ <http://www.alegsa.com.ar/Dic/java.php>

3.2.4.1 TIPOS DE BASE DE DATOS

3.2.4.1.1 MYSQL

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional, licenciado bajo la GPL de la GNU. Su diseño multihilo le permite soportar una gran carga de forma muy eficiente. MySQL fue creada por la empresa sueca MySQL AB, que mantiene el copyright del código fuente del servidor SQL, así como también de la marca.

Este gestor de bases de datos es, probablemente, el gestor más usado en el mundo del software libre, debido a su gran rapidez y facilidad de uso. Esta gran aceptación es debida, en parte, a que existen infinidad de librerías y otras herramientas que permiten su uso a través de gran cantidad de lenguajes de programación, además de su fácil instalación y configuración.

CARACTERÍSTICAS DE MYSQL

Las principales características de este gestor de bases de datos son las siguientes:

- Aprovecha la potencia de sistemas multiprocesador, gracias a su implementación multihilo.
- Soporta gran cantidad de tipos de datos para las columnas.
- Dispone de API's en gran cantidad de lenguajes (C, C++, Java, PHP, etc.).
- Gran portabilidad entre sistemas.
- Soporta hasta 32 índices por tabla.
- Gestión de usuarios y passwords, manteniendo un muy buen nivel de seguridad en los datos.

3.2.4.1.2 POSTGRESQL Y ORACLE

Son sistemas de base de datos poderosos. Administra muy bien grandes cantidades de datos, y suelen ser utilizadas en intranets y sistemas de gran calibre.

CARACTERÍSTICAS DE POSTGRESQL

A continuación se enumeran las principales características de este gestor de bases de datos:

- Implementación del estándar SQL92/SQL99.
- Soporta distintos tipos de datos: además del soporte para los tipos base, también soporta datos de tipo fecha, monetarios, elementos gráficos, datos

sobre redes (MAC, IP), cadenas de bits, etc. También permite la creación de tipos propios.

- Incorpora una estructura de datos array.
- Incorpora funciones de diversa índole: manejo de fechas, geométricas, orientadas a operaciones con redes, etc.
- Permite la declaración de funciones propias, así como la definición de disparadores.
- Soporta el uso de índices, reglas y vistas.
- Incluye herencia entre tablas (aunque no entre objetos, ya que no existen), por lo que a este gestor de bases de datos se le incluye entre los gestores objeto-relacionales.
- Permite la gestión de diferentes usuarios, como también los permisos asignados a cada uno de ellos.

Para el almacenamiento de datos se utilizará MYSQL, es de fácil manejo, rápida, además con un entorno de desarrollo gráfico el mismo que se maneja con mayor conocimiento.

3.2.5 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN ENTRE EL MICROCONTROLADOR Y LA PC

Existen algunas interfaces de comunicación serial entre los microcontroladores y el computador entre los cuales se tiene:

3.2.5.1 USB

Universal Serial Bus es una interface plug&play entre la PC y ciertos dispositivos tales como: teclados, mouse, scanners, impresoras, módems, placas de sonidos, cámaras, etc.

Una característica importante es que permita a los dispositivos trabajar a velocidades mayores, en promedio a unos 12 Mbps, esto es más o menos de 3 a 5 veces más rápido que un dispositivo de puerto paralelo y de 20 a 40 veces más rápido que un dispositivo de puerto serial.

Trabaja como interfaz para transmisión de datos y distribución de energía, que ha sido introducida en el mercado de PCs y periféricos para mejorar otras interfaces serie (RS-232) y paralelo. Esta interfaz de cuatro hilos, 12 Mbps “plug&play”, distribuye 5V para

alimentación, transmite datos y está siendo adoptada rápidamente por la industria informática.

3.2.5.2 RS-232

Es el nombre de la interfaz de comunicación serie más utilizada del mundo. La norma serie está disponible en prácticamente el 99% de los computadores.

La norma RS-232 fue originalmente diseñada para conectar terminales de datos con dispositivos de comunicación (módems, aits). Desde un principio, fue también utilizada para conectar casi cualquier dispositivo imaginable. Los usos de la RS-232 en el entorno doméstico son muchos y ampliamente conocidos. Desde la conexión del ratón, el fax/modem, agendas electrónica de bolsillo, impresoras serie, grabadores de memoria (EPROM), digitalizadores de video, radios de AM/FM, etc. La lista solo está limitada por la imaginación de los diseñadores.

En el entorno industrial el peso del RS-232, es también muy importante. Si bien existen soluciones de comunicación series más robustas y versátiles, como la RS-422 o la RS-475, la RS-232 sigue siendo por su sencillez, su diseño económico y, sobre todo, por su gran difusión, la norma más frecuente. Así, es fácil ver como robots, industriales, manipuladores, controles de todo tipo, utilizan RS-232.

3.2.5.3 ETHERNET

Ethernet fue creado por Xerox pero fue desarrollado conjuntamente como estándar en 1980 por Digital Equipment Corporation, Intel y Xerox. Este estándar comenzó conociéndose como Ethernet DIX, en referencia a los nombres de los creadores. Ethernet tiene un rendimiento (throughput) de 10 Mbps y usa un método de acceso por detección de portadora (CSMA/CD). El IEEE 802.3 también define un estándar similar con una ligera diferencia en el formato de las tramas. Todas las adaptaciones del estándar 802.3 tienen una velocidad de transmisión de 10 Mbps con la excepción de 1Base-5, el cual transmite a 1 Mbps pero permite usar grandes tramos de par trenzado. Las topologías más usuales son: 10Base-5; 10Base-2 y 10Base-T, donde el primer número del nombre señala la velocidad en Mbps y el número final a los metros por segmento (multiplicándose por 100). Base viene de banda base (baseband) y Broad de banda ancha (broadband).

Ethernet e IEEE 802.3 especifican tecnologías muy similares, ambas utilizan el método de acceso al medio CSMA/CD, el cual requiere que antes de que cualquier estación pueda transmitir, debe escuchar la red para determinar si actualmente está en uso. Si es así, la estación que desea transmitir espera y si la red no está en uso, la estación transmite.

En CSMA/CD todos los nodos tienen acceso a la red en cualquier momento, una colisión ocurrirá cuando dos estaciones detectaron silencio dentro de la red y enviaron datos al mismo tiempo, en este caso ambas transmisiones se dañan y las estaciones deben transmitir algún tiempo después (acceso aleatorio).

Como ya se vio Ethernet utiliza el método de acceso al medio CSMA/CD **Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection**. Es CSMA ya que múltiples computadoras pueden acceder simultáneamente al cable Ethernet y determinar si se encuentra activo o no, simplemente escuchando si la señal está presente, por otro lado *CD* "detección de colisión" se refiere a que cada transceiver monitorea el cable mientras está transfiriendo para verificar que una señal externa no interfiera con la suya.

Para este proyecto se va a utilizar transmisión serial RS-232 para manipular los datos en el computador, debido a que es el estándar más fácil de programar y de uso común, además para este proyecto es suficiente las velocidades de transmisión que maneja esta interfaz.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE PROTOTIPO CON ZIGBEE

En este capítulo, se presentará el diseño en hardware inicializado desde la elaboración del esquema hasta culminar con la elaboración de la placa del prototipo para comunicación Zigbee. Así mismo se describirá el diseño del software tanto para el microcontrolador como para la interfaz web.

4.1 DISEÑO DE HARDWARE

Una vez estudiado los conceptos básicos sobre los módulos Zigbee. Así como también, se estudió a los microcontroladores en general y particularmente las características del PIC 16F870. Con estos conocimientos, se procederá a la elaboración del hardware, para este fin, se utilizará el software de creación de esquema y simulación PROTEUS 7.2 módulo ISIS descrito en el capítulo III.

4.1.1 ELABORACIÓN DEL ESQUEMA

Para la elaboración del prototipo de comunicación Zigbee, se utilizarán dos nodos, el primer nodo llamado Adquisición, este nodo está constituido por el PIC 16F870, un sensor de humedad HS1101, un módulo Zigbee y algunos elementos adicionales analizados y escogidos en el capítulo III.

Al nodo 2, llamado Principal, es donde llega la información de la humedad del nodo adquisición y una conexión serial para realizar la comunicación con el computador, es decir, se utilizará el protocolo RS-232.

Para completar todos los nodos, también se requieren elementos electrónicos adicionales como se muestran en el diagrama de bloques en la Figura 4.1.1.1

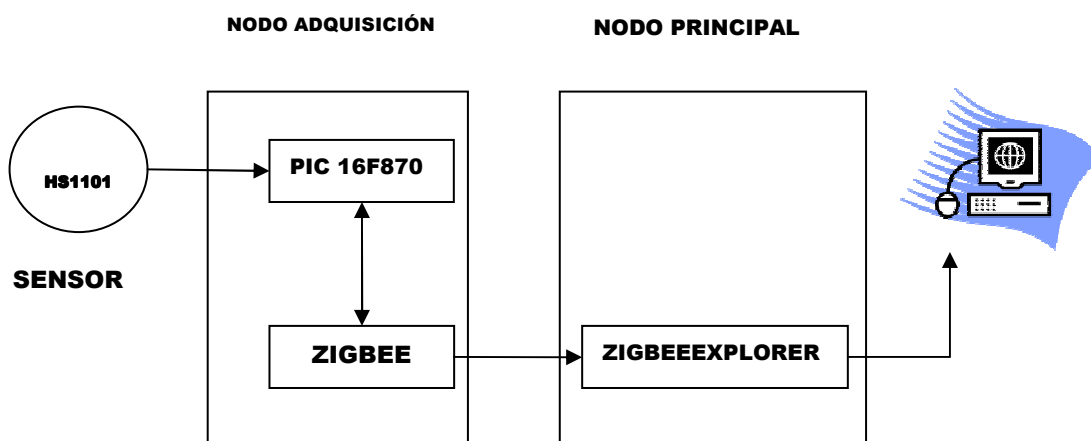


Figura 4.1.1.1: Diagrama de bloques de comunicación Zigbee.

En el diagrama de bloques anterior, se observa un panorama general del proyecto, pero que no muestra el conexionado real de sus diferentes componentes.

Por tanto:

DIAGRAMA CIRCUITAL DE TX – RX ZIGBEE

Ver anexo D: Diagrama Circuital de tx y rx Zigbee

En el diagrama circuital del proyecto, dos nodos Zigbee son ubicados a 20 mts.

Así mismo, en el diagrama circuital, se observa que el micro posee tres puertos, y de cierta manera, estos puertos están siendo utilizados parcialmente así un pin del puerto A concretamente RA1/AN1 es utilizado para la adquisición de datos de humedad, RA0/AN0 es utilizado para la adquisición de datos de temperatura, en el puerto B, los pines RB1, RB2 y RB3 son utilizados para activar el control y finalmente en el puerto C, los pines RC6/TX y RC7/RX son utilizados para transmisión y recepción de datos hacia el dispositivo principal ZigbeeExplorer.

4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NODOS Y MÓDULOS DE COMUNICACIÓN

4.1.2.1 NODO ADQUISICIÓN

En el capítulo III, también se analizaron los elementos de hardware principales que podrían servir para este proyecto. Por tanto, en la fase de diseño se procedió a analizar aquellos componentes con mejores características y favorables al proyecto.

Es así que, para el nodo adquisición, se utilizará un microcontrolador PIC 16F870 y dos módulos Zigbee. El microcontrolador opera a 8 Mhz, la entrada MCLR está conectada a una resistencia. La entrada analógica AN0 del microcontrolador está conectada al sensor de humedad. El sensor puede medir la humedad en un rango 1% – 99% y genera un voltaje de 10V. Las salidas R6 y R7 son conectados al módulo Zigbee.

4.1.2.2 NODO PRINCIPAL

El proceso de recepción y envío de datos, se compone de un ZigbeeExplorer. El cual opera en la banda libre 2.4 Ghz a una distancia 60 mts con rendimiento óptimo su comunicación serial con el computador.

El nodo principal toma datos del nodo de adquisición mediante una red inalámbrica Zigbee.

4.1.3 PUERTO DE COMUNICACIÓN COM

El ZigbeeExplorer utiliza el puerto COM4, o el que se configure primero con comunicación serial con la PC.

4.2 SIMULACIÓN

Para la simulación de comunicación Zigbee, se utilizó PROTEUS, puesto que una de las ventajas de este aplicativo es un simulador para microcontroladores avanzados. Además, éste simulador viene equipado con el sensor de humedad DS-055, el micro 16F870 y un terminal virtual para la transmisión serial con RS-232.

4.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA PARA EL PROTOTIPO

Una vez realizado el diseño de comunicación Zigbee se procedió a construir el prototipo, la placa del nodo adquisición, se empleó el módulo ARES de PROTEUS que es propicio en lo que se refiere al diseño de PCBs, en la siguiente Figura 4.3.1, se muestra la placa final obtenida.

4.3.1 PLACA CIRCUITO ADQUISICIÓN

La placa del nodo adquisición, de 10 x 8 cm, está constituida por su etapa del nodo adquisición de humedad y está diseñada con plano de tierra, para disminuir interferencias de ruidos no deseados. Ver Figura 4.3.1.1

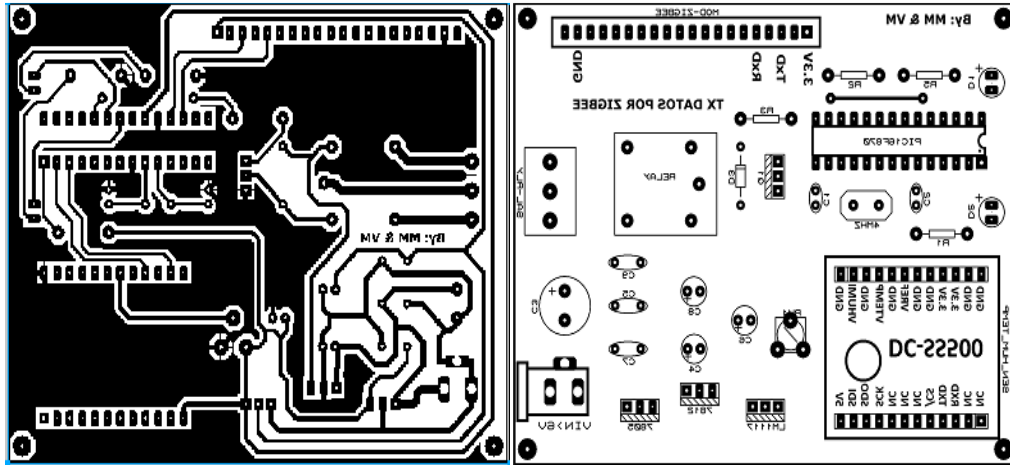


Figura 4.3.1: Diseño final de la pista en ARES.

Figura 4.3.1.1: Diseño final de la pista y el screen para el nodo adquisición.

4.3.2 NODO PRINCIPAL DISPOSITIVO ZIGBEEEXPLORER

Se ha escogido el módulo Zigbee XBEE debido a su costo beneficio, utilización a la que se va a someter, así como de su existencia y comercialización en el medio, tal como se muestra en la Figura 4.3.2.1



Figura 4.3.2.1: Módulo Zigbee IEEE 802.15.4 transmisor-receptor⁴⁵.

4.3.2.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS PINES DE LOS MÓDULOS XBEE

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Powersupply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8

⁴⁵www.decelectronics.com

5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

Tabla 4.3.2.1.1: Distribución de pines módulo XBEE.

Diagrama del circuito transmisor Zigbee se muestra en la Figura 4.3.2.1.2

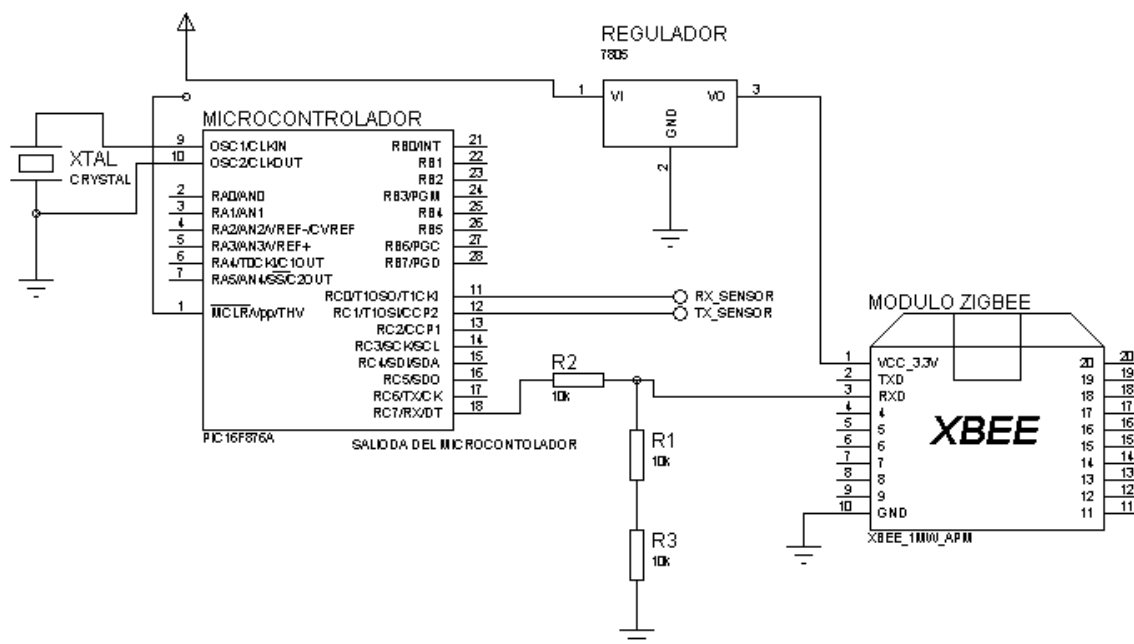


Figura 4.3.2.1.2: Transmisor Zigbee.

Diagrama del circuito receptor Zigbee se muestra en la Figura 4.3.2.1.3

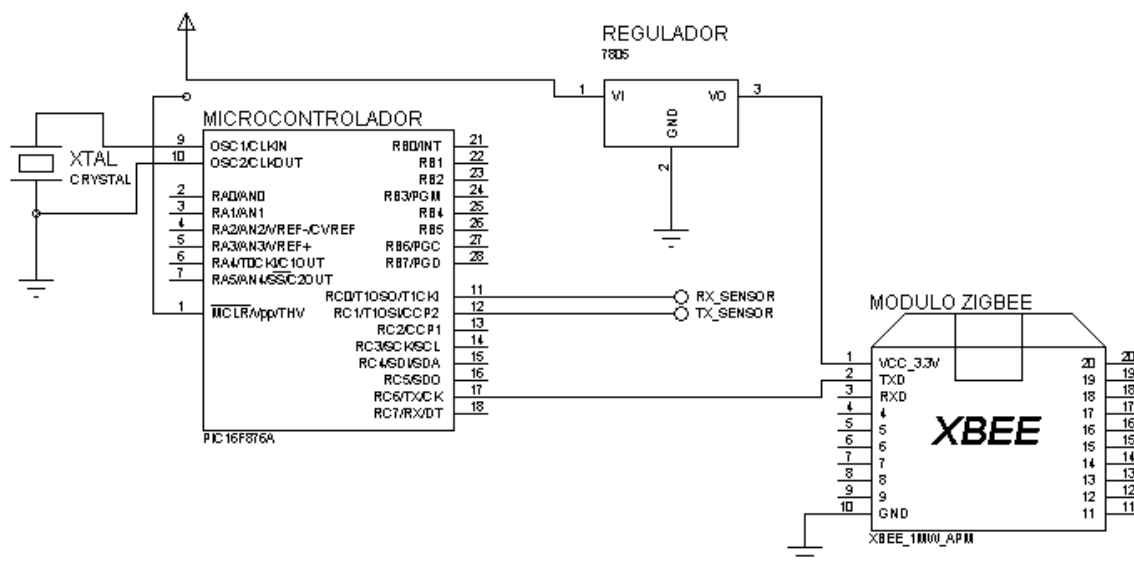


Figura 4.3.2.1.3: Receptor Zigbee.

4.4 DISEÑO DE SOFTWARE

El diseño del software para este proyecto, se divide en dos módulos generales: Diseño del programa para el microcontrolador, para adquisición, transmisión Zigbee y transmisión RS-232 hacia la computadora y diseño del programa para la interfaz Web, la misma que recibe los datos del puerto serial que son censados por el sensor de humedad.

4.4.1 DISEÑO DEL PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR

Para el diseño del programa del microcontrolador, se utilizó la aplicación MIKROC de la empresa MIKROELEKTRONICA por las razones en el capítulo III.

En la transmisión Zigbee a más del hardware de transmisión implementado, se necesita de un programa, el mismo que será cargado en el micro. Para el desarrollo de este programa, MIKROC posee diversas librerías que simplifican la programación.

A continuación, se lista el programa para el microcontrolador

4.4.1.1 PROGRAMA MICROCONTROLADOR EN LENGUAJE C

```
#define led_func_tx portb.f1
#define humedad_critica portb.f2
#define rele_ventilador portb.f3
```

```

unsigned short humedad,temperatura,Hmax,dato,bandera;
void interrupt() // Interrup para la Rx de datos desde la PC
{
    bandera = 0;
    if (PIE1.RCIE)
    {
        dato = Usart_Read();
        Eeprom_Write(0x1, Hmax);
    }
    if (dato=='A')
    {
        bandera = 0;
    }
    if (dato=='E')
    {
        bandera = 1;
    }
    if (dato=='I')
    {
        Hmax = Eeprom_Read(1);
        Hmax = Hmax + 5;
        if (Hmax>=250)
        {
            Hmax=250;
        }
        Eeprom_Write(0x1, Hmax);
    }
    if (dato=='D')
    {
        Hmax = Eeprom_Read(1);
        Hmax = Hmax - 5;
        if (Hmax<=5)
        {
            Hmax=5;
        }
    }
}

```

```

    }
    Eeprom_Write(0x1, Hmax);
}
}
}
voidmain()
{
    Usart_Init(9600);    // Velocidad de Tx
    adcon1 = 0x81;      // Configuración de entradas analógicas
    trisa = 0xFF;       // Puerto A como entradas
    trisb = 0;          // Puerto B como salidas
    portb = 0;          // Puerto B = 0
    INTCON = 0xC0;      // Habilitado Interrupciones globales y periféricas
    bandera = 0;
    Hmax = 160;
do
{
    if (Usart_Data_Ready()) // Si existe un dato en el Buffer de Rx, entonces
    {
        // habilita el bit de interrupción en la RX (RCIE)
        PIE1 = 0x20;
    }
    led_func_tx = 1;
    delay_ms(200);
    led_func_tx = 0;
    delay_ms(200);

    humedad = ADC_Read(1) >> 2; // Lee el valor de humedad digitalizado
    if (humedad >= Hmax || bandera == 1)
    {
        humedad_critica = 1;
        rele_ventilador = 1;
    }
    else

```

```

{
    humedad_critica = 0;
    rele_ventilador = 0;
}
Usart_Write('H');          // Envía una cabecera para el valor de humedad
    Usart_Write(humedad);    // Envía el valor de la humedad
temperatura = ADC_Read(0) >> 2; // Lee el valor de temperatura digitalizado
    Usart_Write('T');        // Envía una cabecera para el valor de temperatura
    Usart_Write(temperatura); // Envía el valor de la temperatura
    Usart_Write('M');
    Usart_Write(Hmax);
} while (1);                // Fin de ciclo
}

```

4.4.2 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO ZIGBEE

Los módulos xbee pueden ser programados a través de una hyperterminal y una interface serial con un max 3232 y una serie de comandos llamados at, pero este método es más complicado.

Existen dos tipos de interfaces, serial y USB que pueden ser utilizadas para programar los módulos xbee con un software propietario llamado x-ctu.

Con este software se puede definir de una forma rápida todos los parámetros que se necesita modificar en los módulos.

Una de las ventajas es que se puede tener hasta 65000 combinaciones distintas de red y se pueden hacer redes de punto a punto y punto a multi-punto.

Los módulos tienen 6 convertidores análogo-digital y 8 entradas digitales además de rx y tx, el protocolo 802.15.4 pertenece a las redes pan (personal area network.).

CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO XBEE

Ver anexo E: Configuración Xbee

4.5 DISEÑO DE LA INTERFAZ DE LA COMPUTADORA

Para el diseño de la interfaz web para la computadora, se utilizó la aplicación PHP, y se utiliza un software adicional ActiveExperts, para realizar la conexión serial entre el μ C y la PC.

El objetivo de comunicar el μ C y la PC es de monitorear los que vienen a través de los módulos Zigbee.

Como las computadoras normales no tienen interfaces Zigbee, entonces para el monitoreo se podrían utilizar interfaces de comunicación como USB, RS-232. Para este proyecto la forma más fácil de comunicarse y por la cual se optó, fue a través de la comunicación serial con protocolo RS-232.

4.5.1 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ

Como se mencionó anteriormente la interfaz web fue desarrollada en PHP, puesto que este lenguaje es de entorno Web, es sencillo y fácil de utilizar.

4.5.2 DIAGRAMAS UML

Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés, Unified Modeling Language) es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad.

Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema de software.

UML ofrece un estándar para describir un "plano" del sistema (modelo), incluyendo aspectos conceptuales tales como procesos de negocios y funciones del sistema, y aspectos concretos como expresiones de lenguajes de programación, esquemas de bases de datos y componentes de software reutilizables.

4.5.2.1 DIAGRAMA DE CASOS DE USO

Casos de Uso es una técnica para capturar información de cómo un sistema o negocio trabaja, o de cómo se desea que trabaje. No pertenece estrictamente al enfoque orientado a objeto, es una técnica para captura de requisitos. Ver Figura 4.5.2.1.1

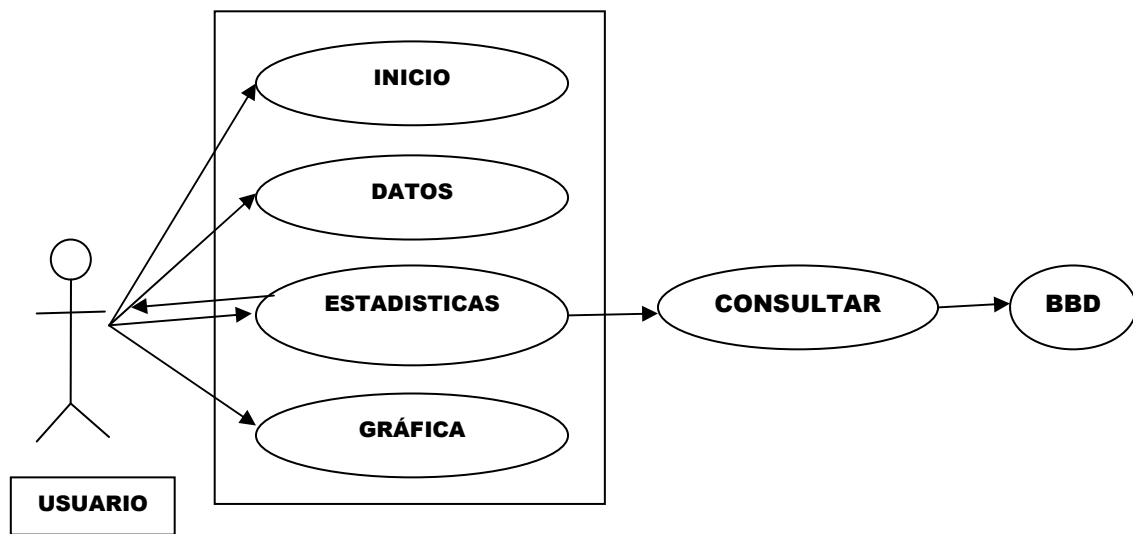


Figura 4.5.2.1.1: Diagrama de casos de uso.

4.5.2.2 DIAGRAMA DE SECUENCIA

El Diagrama de Secuencia es uno de los diagramas más efectivos para modelar interacción entre objetos en un sistema. Un diagrama de secuencia se modela para cada caso de uso. Ver Figura 4.5.2.2.1

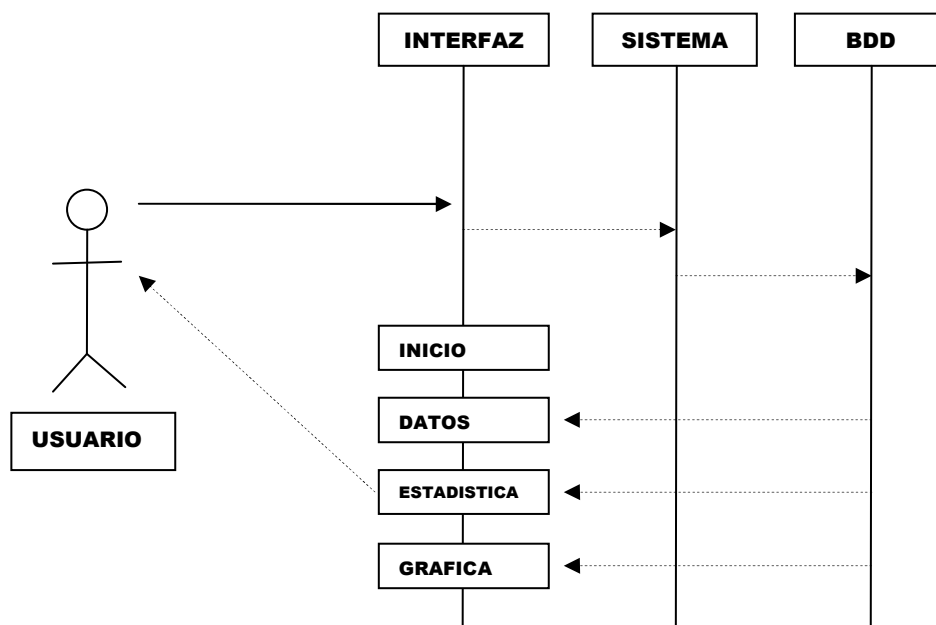


Figura 4.5.2.2.: Diagrama de secuencia.

4.5.2.3 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES

El Diagrama de Actividad es un diagrama de flujo del proceso multi-propósito que se usa para modelar el comportamiento del sistema.

Un diagrama de actividad es parecido a un diagrama de flujo; la diferencia clave es que los diagramas de actividad pueden mostrar procesado paralelo (parallel processing). Ver Figura 4.5.2.3.1

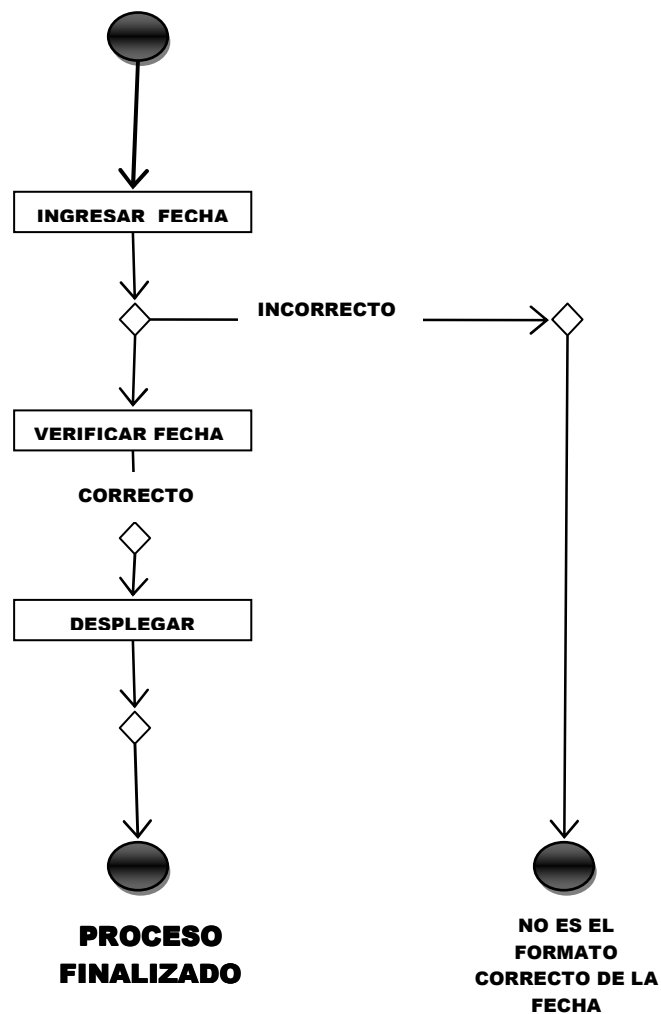


Figura 4.5.2.3.1: Diagrama de actividades.

4.5.3 PRESENTACIÓN WEB

La presentación del portal web esta realizado en php de acuerdo a las necesidades y requerimientos del proyecto, es así que en la Figura 4.5.3.1 se muestra los datos que van hacer visualizados. Se presentará una toma real de los datos que son censados en el momento actual.

Así mismo, se visualizará un gráfico estadístico de los cambios que produce el sensor en las variaciones de humedad.

Representación gráfica de la humedad en PHP. Ver Figura 4.5.3.1



Figura 4.5.3.1: Presentación web de la gráfica de humedad.

En esta pantalla, se visualiza estadísticas diarias de la variación de la humedad para evaluar puntos críticos de la misma. Ver Figura 4.5.3.2



Figura 4.5.3.2: Presentación web de estadísticas de los valores de humedad diariamente.

En esta pantalla, se muestra datos actualizados de humedad Ver Figura 4.5.3.3



Figura 4.5.3.3: Presentación web de los datos de los valores de humedad actualizados.

Esta pantalla, presenta la página principal de la interfaz. Ver Figura 4.5.3.4



Figura 4.5.3.4: Presentación web principal.

A continuación, se lista el programa de la interfaz web.

4.5.3.1 PROGRAMA DE LA INTERFAZ WEB EN PHP

```
<?php
    $base = "bodega";
    $host = "127.0.0.1";
    $db = mysql_connect($host,"root");
    mysql_select_db($base,$db);
    ///ingreso datos a la bdd
    $fecha=date('Y/m/d');//echo $fecha;
    $hora=date('H:i');//echo $hora;

    $objComport = new COM ( "ActiveXperts.Comport" );
    $objComport->Logfile = "C:\PhpSerialLog.txt";
    $objComport->Device = "COM4";
    $objComport->Baudrate = 9600;
    $objComport->ComTimeout = 1000;
    $objComport->Open ();

    if ( $objComport->LastError == 0 )
    {
```

```

while ( $objComport->LastError == 0 )
{
    $valor=$objComport->ReadString ();
    $len=strlen($valor);
    if($len==18)
    {
        for($i=0; $i<6; $i++)
        {
            //el valor en ascci lo transformó a hexadecimal
            $valorord=ord($valor[$i]);
            $valorhex=dechex($valorord);
            //el valor hexadecimal lo transformó a decimal
            $valordec=hexdec($valorhex);

            //calculó el valor de humedad
            if($i==1)
            {

                $humedad=round((((($valordec*4)*5)/1023)*19.23,2);
                }
            //calculó el valor de temperatura
            if($i==3)
            {

                $temperatura=round((20.41*(((($valordec*4)*5)/1023))-28.98);
                }
            }
            //parámetros para la conexión a la bdd
            $sql      =      "insert      into      bodega      values
            (',$temperatura',$humedad','$fecha','$hora');";

```

```
//echo "$sql<br>";
if ($result=mysql_query($sql,$db))
{
    $mensaje= "La inserción se realizo";
}else
{
    die("error al amacenar<br> $sql");
}
}
}
}else
{
    $ErrorNum = $objComport->LastError;
    $ErrorDes = $objComport->GetErrorDescription( $ErrorNum );
    //echo "error al enviar los datos: #$ErrorNum ($ErrorDes).";
}
$objComport->Close ();
include ("./Index.php");
?>
<?php
$fecha=date('Y/m/d');
//parámetros para la conexión a la bdd
$base = "bodega";
$host = "127.0.0.1";
$db = mysql_connect($host,"root");
mysql_select_db($base,$db);
////realizo la consulta a bdd
$sql="select * from bodega where bg_fecha='$fecha' order by bg_iddesc limit 10";

//echo "$sql<br>";
$result=mysql_query($sql,$db);
$fila=mysql_fetch_row($result);
$tabla="<table border ='1' width='600'>
```



```

        <tr>
            <td width='100'>FECHA</td>
            <td width='200'>TEMPERATURA</td>
            <td width='200'>HUMEDAD</td>
        </tr>";
while($fila=mysql_fetch_row($result))
{
    $tabla.="<tr>
        <td width='100'>$fila[3]</td>
        <td width='200'>
            <table>
                <tr>
                    <td colspan='2' bgcolor='#99FFFF'
width='$fila[1]%'>$fila[1]&ordm;</td>
                </tr>
            </table>
        </td>
        <td width='200'>
            <table>
                <tr>
                    <td colspan='2' bgcolor='#CCFFFF'
width='$fila[2]%'>$fila[2]%</td>
                </tr>
            </table>
        </td>
    </tr>";
}
$tabla.="</table>";
echo $tabla;
mysql_close($db);
?>

```

4.5.4 INTERFACE HMI (HOMBRE-MÁQUINA)

En esta parte del proyecto, se realiza la conexión Hombre-Máquina la misma que está dada por el módulo ZIGBEE que se conecta al computador, el cual envía datos que son monitoreados por el módulo Zigbee receptor.

El hombre interactúa con la interfaz del programa para tomar acciones correspondientes sobre los datos que son medidos y mostrados en el computador tal como se muestra en la Figura 4.5.4.1



Figura 4.5.4.1: Interfaz HMI.

CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo, se describe las pruebas y resultados obtenidos en los diferentes escenarios en línea recta, con obstáculos y rango de alcance de los módulos Zigbee.

5.1 INTERFERENCIA DE OTROS DISPOSITIVOS

Los dispositivos que operan en la banda de los 2.4 Ghz pueden recibir interferencia causada por otros servicios que operan en la misma banda. Esta situación es aceptable en las aplicaciones que utilizan el estándar IEEE 802.15.4, las cuales requieren una baja calidad de servicio (QoS), y se espera que realice varios intentos para realizar la transmisión de paquetes. Por el contrario, un requerimiento primario de las aplicaciones del IEEE 802.15.4 es el consumo mínimo de energía; esto se logra con poca energía de transmisión y muy pocos ciclos de servicio.

Las pruebas se realizaron tal como se muestra en la Figura 5.1.1, pero esta condición involucra dispositivos bluetooth, teléfonos inalámbricos que funcionan a la misma frecuencia, además en el campus sur UPS se tiene otro tipo de interferencias como redes de internet inalámbrico (WiFi) y redes WLAN externas del campus.

Los resultados fueron satisfactorios, la calidad del enlace es excelente, se tiene una pérdida nula en el enlace, pero al acercar las antenas de los dispositivos hacia los módulos Zigbee a una distancia menor de 0.15 cm., el enlace se pierde. Ver Figura 5.1.1



Figura 5.1.1: Ubicación de los dispositivos ZigbeeExplorer y Circuito.

5.2 RANGO ZIGBEE

El rango obtenido está en función de la sensibilidad del receptor así como de la potencia del transmisor. El estándar especifica que cada dispositivo debe ser capaz de transmitir al menos 1mW, pero dependiendo de las necesidades de la aplicación, la potencia real de transmisión puede ser menor o mayor (dentro de los límites de regulación establecidos). Los dispositivos típicos (1mW) se espera que cubran un rango de entre 10-20 m.

5.3 RANGO DE ALCANDE DEL SISTEMA

El radio de alcance exacto de los módulos Zigbee depende del tipo de transmisor-receptor y del tipo de antena en uso.

A los 2.4 Ghz y con un buen diseño de la antena, se podría alcanzar una distancia de los 100 m con línea de vista. En lugares interiores, el rango de alcance es cerca de los 80 m, pero el rango real, podría reducirse debido a las paredes y otros obstáculos estructurales.

5.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS Y RESULTADOS

Para llevar a cabo estas pruebas se definirán dos escenarios diferentes de operación: el primer escenario es un campo abierto. El segundo escenario será un campo con obstáculos.

Los resultados que se obtendrán de las pruebas será la cantidad de paquetes (valor de humedad y temperatura) que se envíe desde un dispositivo final hacia el dispositivo ZigbeeExplorer, los paquetes en él se visualizarán mediante una Interfaz web.

El computador con el HMI estará conectado al dispositivo Zigbee Explorer por medio de una interfaz RS-232, mientras que el otro dispositivo Zigbee se conectará al circuito final.

5.5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

5.5.1 ESCENARIO 1: RANGO DE ALCANCE DEL SISTEMA EN EXTERIORES

Esta prueba consistió en situarse en campo abierto con una computadora portátil y del otro lado el dispositivo Zigbee final. Se realizaron pruebas de calidad de enlace desde el coordinador ZigbeeExplorer hacia el dispositivo final. Después de una serie de pruebas y con varias distancias se obtuvieron como resultados que a la distancia de 80 m. la señal de

enlace es correcta, el computador portátil conectado al ZigbeeExplorer como indica la Figura 5.5.1.1



Figura 5.5.1.1: Sesión de interfaz web con enlace correcto.

Al continuar separando los dispositivos hasta una distancia aproximada de 90 m, la calidad del enlace disminuye, esta se puede visualizar en el computador portátil con el ZigbeeExplorer como se muestra en la Figura 5.5.1.2



Figura 5.5.1.2: Sesión de interfaz web con problemas en el enlace.

ENCENDIDO Y APAGADO MANUAL

Ver Anexo F: Encendido y Apagado manual mediante consola del mikroC

5.5.2 ESCENARIO 2: RANGO DE ALCANCE CON OBSTÁCULOS

Se definen como obstáculos a las paredes, puertas y ventanas, las cuales son inevitables en las aplicaciones de redes inalámbricas.

Se ubicaron los dispositivos, coordinador y dispositivo final de red como se indica en la Figura 5.5.2.1; al movilizar el dispositivo final en el interior de la bodega, la señal no tenía pérdida, pero al movilizar el dispositivo final hacia el exterior de la bodega, se obtuvieron pérdidas en el enlace, por lo tanto se obtuvo un rango de alcance de cuarenta metros.



Figura 5.5.2.1: Ubicación de los dispositivos coordinador y dispositivo final.



Figura 5.5.2.2: Ubicación del dispositivo coordinador ZigbeeExplorer en el cuarto de facturación.



Figura 5.5.2.3: Ubicación del dispositivo coordinador ZigbeeExplorer en el cuarto de facturación ampliado el dispositivo.

Aquí, se visualiza el sensor de humedad ubicado en el interior de la bodega, el cual se encuentra monitoreando la humedad Ver Figura 5.5.2.4



Figura 5.5.2.4: Ubicación del dispositivo final en el interior de la bodega.

Aquí, se muestra la imagen de la entrada principal de la bodega donde se ubica el sensor de humedad.



Figura 5.5.2.5: Foto de la Bodega Argelia.

PLANO DE L A BODEGA

Ver en Anexo G: Plano de la Bodega

En esta imagen, se muestra los productos que almacena la bodega Argelia para ser comercializados.



Figura 5.5.2.6: Productos de la Bodega Argelia

En esta foto, se visualiza el aire acondicionado conectado al dispositivo final el cual se encenderá cuando la humedad sea menor de 30%.



Figura 5.5.2.7: Sensor conectado al aire acondicionado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ✚ La forma de transmisión de datos utilizando tecnología inalámbrica Zigbee, simplifica la enorme comunicación entre redes que utilizan cableado estructurado, lo que las hace más eficiente en las velocidades de transmisión y menos voluminosas.
- ✚ En la actualidad la tecnología inalámbrica Zigbee, tiene gran acogida, ya que se encuentra estandarizada y tiene su propia norma para comunicaciones, así como su propio organismo de regularización.
- ✚ Este prototipo realiza la comunicación, entre dos nodos, para posteriores proyectos pueden comunicarse teóricamente hasta 16000 redes y cada red puede estar constituida por hasta 65000 nodos.
- ✚ Se realizó el prototipo de control y monitoreo el cual presenta alta confiabilidad en el control de humedad, pero en la comunicación se debe realizar varios intentos debido a que el estándar Zigbee se caracteriza por tener una baja transmisión de datos y baja calidad de servicio.
- ✚ Se construyó la base de datos en MySQL, por ser un software de libre distribución, y de fácil manejo el cual permite almacenar una gran cantidad de registros de datos.
- ✚ Se creó la interfaz Web en lenguaje PHP, en la cual se visualiza los datos actualizados, monitoreados por el sensor de humedad ubicado en el interior de la Bodega Argelia.

RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda para posteriores proyectos utilizar microcontroladores que tengan incorporados módulos de transmisión USB, dentro del mismo μC , puesto que en la actualidad la mayoría de computadores viene con interfaces USB.
- ✚ Se aconseja mantener una distancia entre el operador y antena de más de 20 cm, porque los módulos Zigbee irradian energía en la banda de la microonda.
- ✚ A pesar de que el sensor de humedad HS1101 tiene un rango de medición desde 0% hasta 99%, se recomienda no exponer a los módulos a temperaturas bajo 0°C o sobre 80°C , debido a que es un prototipo de demostración y el resto de sus componentes no soportan el mismo rango de temperatura.
- ✚ Es aconsejable que las antenas estén orientadas correctamente y los módulos se encuentren dentro de los rangos de distancia establecidos para que la tx y rx de datos sea correcta.
- ✚ Se debe tener precaución de no exponer el sensor directamente a vaporizaciones, ya que al ser un dispositivo electrónico es muy sensible y podría dañarse.

TRABAJO A FUTURO

Este proyecto realiza un prototipo de un sistema de dos nodos de adquisición y control de humedad a través de dos dispositivos de red Zigbee (coordinador y dispositivo final), logrando una red de topología punto a punto. Se aconseja continuar con la expansión de la red, agregándole más dispositivos (ruteadores y dispositivos finales).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TEXTO

GUTIÉRREZ, José; CALLAWAY, Edgar; BARRET, Raymond, Low-Rate Wireless Personal Area Network. Enabling Wireless Sensors with IEEE

PDF

<http://www.seccperu.org/files/Zigbee.pdf>

Valverde Rebaza Jorge Carlos

Universidad Nacional de Trujillo

Trujillo – Perú – 2007

<http://ww1.mikroChip.com/downloads/en/AppNotes/00965b.pdf>

Author: David Flowers, Kim Otten

and Nilesh Rajbharti

MikroChip Technology Inc.

http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Oct05Marzo06/Inalámbricas/Trabajo1/TRaduccion/proyecto_g2.pdf

<http://www.terra.es/personal/fremiro/Archivos/HS1100es.pdf>

<http://www.rodriogog.com/Pic/Pic16f870.pdf>

INTERNET

www.monografias.com

www.domodesk.com

http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4

<http://www.zero13wireless.net/foro/showthread.php?t=1483>

<http://www.scribd.com/doc/19049146/El-Standard-Zigbee>

<http://www.osiriszig.com/content.aspx?co=15&t=21&c=2>

<http://www.aexit.es/aexit/ap/aexit.php/doc/RedesZigbee43.htm?sesion=bbe4d7b7f5128eedece3c99146023ebb>

<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9508>

<http://tecnio.com/%C2%BFque-es-bluetooth/>
<http://borealtech.wordpress.com/2006/12/20/bluetooth-vs-Zigbee/>
<http://www.aulaclic.es/articulos/WiFi.html>
<http://pjmicrocontroladores.wordpress.com/2006/11/06/%C2%BFque-es-un-microcontrolador/>
<http://www.mitecnologico.com/MAin/ArquitecturaInternaMicrocontrolador>
<http://www.info-ab.uclm.es/labeled/Solar/Microcontroladores/GamaBaja.htm>
<http://r-luis.xbot.es/Pic1/Pic03.html><http://r-luis.xbot.es/Pic1/Pic01.html>
<http://unbarquero.blogspot.com/2007/11/hoy-me-he-dispuesto-hacer-una.html>
<http://unbarquero.blogspot.com/2007/11/texas-instruments.html>
<http://www.albedo.biz/technology/011/>
<http://www.módulos Zigbee\XBEE.htm>
<http://www.gmelectronica.com.ar/>
<http://www.decelectronics.com/>
<http://www.decelectronics.com/html/XBEE/XBEE.htm>
<http://www.alegsa.com.ar/Dic/java.php>
<http://www.desarrolloweb.com/articulos/392.php>
<http://www.tufuncion.com/diferentes-lenguajes-PROGRAMACIÓN>
<http://www.maestrosdelweb.com/editorial/aspintro/>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACCESS: Es un programa sistema de gestión de base de datos relacional creado y modificado por Microsoft para uso personal en pequeñas organizaciones.

ADDRESS LIST: Lista de Direcciones.

ADC: Convertidor analógico-digital interno.

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares).

API's: Application programming interface (Interfaz de programación de aplicaciones).

APS: Application Sublayer (subcapa de aplicación).

ARM: (Acorn RISC Machine, Advanced RISC Machine). **ARM** es una arquitectura de procesadores RISC de 32 bits.

ASM: Ensamblador.

ASP: Active Server Pages (Servidor de Páginas Activas).

AVR: Automatic Voltage Regulator (Regulador automático de voltaje).

BEACON PAYLOAD: Carga útil Beacon.

CAN: Controller Area Network (Red de área de control). Can es una colección de LANs.

CB: Badge of the circuit to print (Placa del circuito para imprimir).

CDONTS: Collaboration Data Objects para Microsoft Windows NT Server (cdonts). También proporciona técnicas que puede utilizar para errores que pueden producirse cuando crea un objeto o cuando envía un mensaje.

CLR: Common Language Runtime (Lenguaje común en tiempo de ejecución).

DsPIC: Un DSPIC es un procesador de señales digitales muy rápido y poderoso, capaz de procesar audio y algunos hasta video en tiempo real.

DSP: Digital Procesing Data (Datos de procesamiento digital).

EPROM: Erasable programmable read only memory (Memoria de sólo lectura Programable y borrrable).

EEPROM: Electrical Erasable Programmable Read Only Memory (Memoria de sólo lectura Programable y borrrable eléctricamente).

E/S: Entrada / Salida.

FCS: Frame Check Sequence (Secuencia de chequeo de trama).

FFD: Full function device (Dispositivo de funcionalidad completa).

FRAME HEADER: Cabecera de la trama.

FRAME FOOTER: Pie de la trama.

FRAME PAYLOAD: Carga útil de la trama.

GHz: Giga hertzios.

GNU: Proyecto iniciado por Richard Stallman con el objetivo de crear un sistema operativo completo libre.

GPL: General Public License (Licencia Pública General).

GPR: Registros de Propósito General.

HLL: High Level Language (Lenguaje de alto nivel).

HTML: Hyper Text Markup Language (Lenguaje de Marcas de Hipertexto).

IIS: Internet Information Services (Servicio de información de internet).

ISM: Industrial, Scientific & Medical (Industria Científica & Medica).

ISO: International Standard Organization (Organización Internacional de Normalización).

I2C: Bus de datos para comunicación.

LAN: Local Area Network (Red de Area Local).

LCC: Lead Chip Carrier (Portadora de chip con guía).

LR-WPAN: Low-rate wireless personal area network (Redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos).

MAC: Media Access Control (Control de Acceso al Medio).

MAC COMMAND PAYLOAD: (Carga útil del Comando Mac).

MAC COMMAND TYPE: Tipo de Comando Mac.

MAC FOOTER: Pie Mac.

MAC HEADER: Cabecera Mac.

MAC PAYLOAD: Carga útil Mac.

MAC SUBLAYER: Subcapa Mac.

MEMORIA OTP: One Time Programmable, (Memorias programables una sola vez).

MESH: Topología de malla.

MHz: Mega hertzios.

MIPS: (Mips o Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages). Arquitectura de microprocesadores RISC.

MPDU: Mac protocol data unit (Unidad de datos del protocolo MAC).

MYSQL: Es un sistema de gestión de base de datos relacional, multihilo y multiusuario.

NWK: Network Layer (capa de red).

ORACLE: Es una potente herramienta cliente/servidor para la gestión de Bases de Datos.

OSI: Open System Interconnection (Sistema Abierto de Interconexiones).

PAN ID: Personal Area Network Identifier (Identificador de Red de Área Personal).

PENDING ADDRESS SPECIFICATION: Especificación Pendiente de Direcciones.

PHP: Hypertext Preprocessor o Personal Home Pages (Páginas de inicio personal).

PHY: Header: physical header (Cabecera de la capa física).

PIC: Peripheral Interface Controller (Controlador de interfaz periférica).

POSTGRESQL: Es un sistema de gestión de base de datos relacional orientada a objetos.

POR: Power on reset.

PPDU: PHY Protocol Data Unit (Unidad de datos del protocolo de la capa física).

PSDU: Physical Layer Service Data Unit (Unidad de servicio de datos de la capa física).

PULL-UP: Es la acción de elevar la tensión de salida de un circuito lógico, bien a la tensión que, por lo general mediante un divisor de tensión, se pone a la entrada de un amplificador con el fin de desplazar su punto de trabajo.

PWM: Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulsos), de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada).

QTP: Es el propio fabricante el que se encarga de grabar el código en todos los chips que configuran pedidos medianos y grandes.

RAM: Random access memory (Memoria de acceso aleatorio).

RAM ESTÁTICA Ó SRAM: Static Random Access Memory (Memoria Estática de Acceso Aleatorio).

RFD: Reduced function device (Dispositivo de funcionalidad reducida).

RISC: Reduced Instruction Set Computer. (La computadora pone instrucciones reducidas).

ROM: Read only memory (Memoria de sólo lectura).

SFR: Registros Específicos.

SH: Synchronization header (Cabecera de sincronización).

SPICE: (Vista en 3D) Eagle Easily Applicable Grafical Layout Editor (Editor de Diseño grafico fácilmente aplicable).

SMTP: Simple Mail Transfer Protocol (Protocolo Simple de Transferencia de Correo).

SQL SERVER: Es un sistema para la gestión de bases de datos producido por Microsoft basado en el modelo relacional.

SQTP: El fabricante solo graba unas pocas posiciones de código para labores de identificación, número de serie, palabra clave, checksum, etc.

STACK: Pila.

SUPER FRAME SPECIFICATION: Especificación de la Super trama.

TMR0: Temporizador.

USART: Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (Receptor /Transmisor Sincrónico /Asincrónico Universal).

USB: Universal Serial Bus (Bus de Serie Universal).

WATCHDOG: Perro Guardián.

WLAN: Wireless Local Area Network (Red Inalambrica de Area Local).

WPANS: Wireless Personal Area Networks (Red Inalámbrica de Área Personal).

ZC: Zigbee coordinator, (Coordinador zigbee).

ZDO: Zigbee Device Objects (Dispositivo de objetos Zigbee).

ZED: Zigbee end device (Dispositivo final).

ZR: Router zigbee.

Anexos

Anexo

A

**DATA SHEET SENSOR DE
HUMEDAD HS1101**



TECHNICAL DATA



RELATIVE HUMIDITY SENSOR

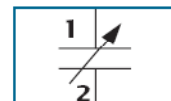
HS 1100 / HS 1101

Based on a unique capacitive cell, these relative humidity sensors are designed for high volume, cost sensitive applications such as **office automation, automotive cabin air control, home appliances, and industrial process control systems**. They are also useful in all applications where humidity compensation is needed.

FEATURES

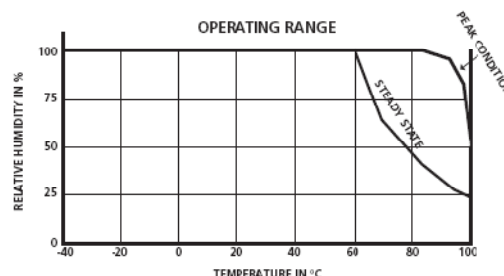
- **Full interchangeability** with no calibration required in standard conditions
- **Instantaneous desaturation** after long periods in saturation phase
- Compatible with automatized assembly processes, **including wave soldering, reflow and water immersion** (1)
- High reliability and long term stability
- Patented solid polymer structure
- Suitable for linear voltage or frequency output circuitry
- Fast response time
- Individual marking for compliance to stringent traceability requirements

(1) soldering temperature profiles available on request



MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C unless otherwise noted)

Ratings	Symbol	Value	Unit
Operating Temperature	Ta	-40 to 100	°C
Storage Temperature	Tstg	-40 to 125	°C
Supply Voltage	Vs	10	Vac
Humidity Operating Range	RH	0 to 100	% RH
Soldering @ T = 260°C	t	10	s



CHARACTERISTICS

(Ta = 25°C, measurement frequency @ 10kHz unless otherwise noted)

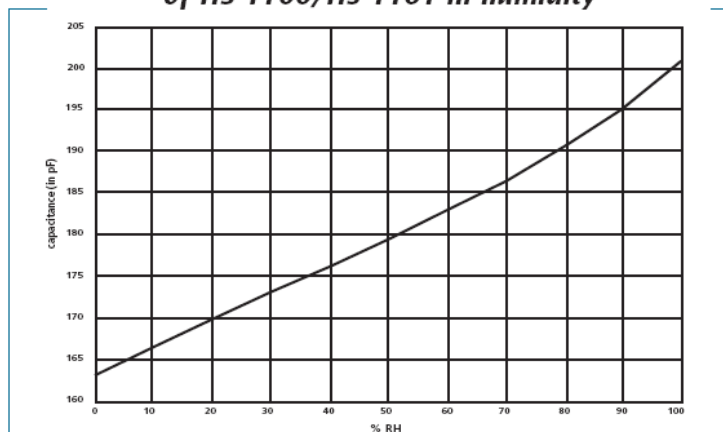
Characteristics	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit.
Humidity measuring range	RH	1		99	%
Supply voltage	Vs		5	10	V
Nominal capacitance @ 55% RH*	C	177	180	183	pF
Temperature coefficient	Tcc		0.04		pF/°C
Averaged Sensitivity from 33% to 75% RH	$\Delta C/\%RH$		0.34		pF/%RH
Leakage current (Vcc = 5 Volts)	Ix		1		nA
Recovery time after 150 hours of condensation	tr		10		s
Humidity Hysteresis			+/-1.5		%
Long term stability			0.5		%RH/yr
Response time (33 to 76 % RH, still air @ 63%)	ta		5		s
Deviation to typical response curve (10% to 90% RH)			+/-2		% RH

* Tighter specification available on request



CHARACTERISTICS (CONT'D)

**Typical response curve
of HS 1100/HS 1101 in humidity**



Calibration data are traceable to NIST standards through CETIAT laboratory.

Measurement frequency : 10kHz
Ta = 25°C

Polynomial response : $C(pf) = C@55\% * (1.2510^{-7} RH^3 - 1.3610^{-5} RH^2 + 2.1910^{-3} RH + 9.010^{-1})$
RH in % RH

Measurement frequency influence

In this data sheet, all capacitance measurements are @ 10kHz. However, the sensor can operate without restriction from 5kHz to 100kHz. To calculate the influence of frequency on capacitance measurements :

$$C@fkHz = C@10kHz (1.027 - 0.01185 \ln(fkHz))$$

Polarization

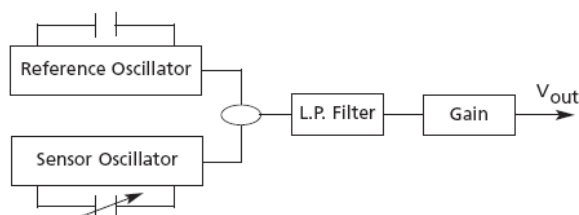
In order to get a better reproducibility during measurements, always connect the case of the header (pin 2) to the ground of the circuit.

The case of the header is located on the opposite side of the tab.

Soldering instructions : see the Application Note HPC007

PROPORTIONAL VOLTAGE OUTPUT CIRCUIT

Internal Block Diagram



$$V_{out} = V_{cc} * (0.00474 * \%RH + 0.2354)$$

for 5 - 99% RH

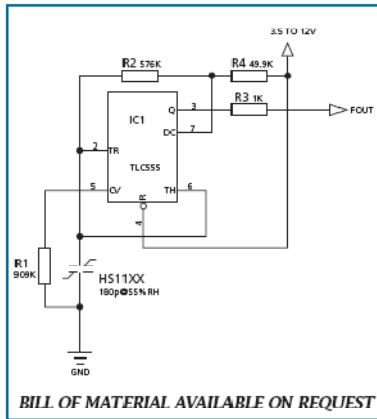
Typical temperature coefficient :
+0.1% RH/°C - From 10 to 60°C

DEMO BOARD AVAILABLE ON REQUEST (REF HM1510)

Typical Characteristics for Voltage Output Circuit
At V_{CC} 5V - 25°C

RH	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Voltage (V)	-	1.41	1.65	1.89	2.12	2.36	2.60	2.83	3.07	3.31	3.55

FREQUENCY OUTPUT CIRCUITS



COMMENTS

This circuit is the typical astable design for 555. The HS1100/HS1101, used as variable capacitor, is connected to the TRIG and THRES pin. Pin 7 is used as a short circuit pin for resistor R4.

The HS1100/HS1101 equivalent capacitor is charged through R2 and R4 to the threshold voltage (approximately 0.67Vcc) and discharged through R2 only to the trigger level (approximately 0.33Vcc) since R4 is shorted to ground by pin 7.

Since the charge and discharge of the sensor run through different resistors, R2 and R4, the duty cycle is determined by :

$$t_{high} = C @ \%RH * (R2 + R4) * \ln 2$$

$$t_{low} = C @ \%RH * R2 * \ln 2$$

$$F = 1 / (t_{high} + t_{low}) = 1 / (C @ \%RH * (R4 + 2 * R2) * \ln 2)$$

$$\text{Output duty cycle} = t_{high} * F = R2 / (R4 + 2 * R2)$$

To provide an output duty cycle close to 50%, R4 should be very low compared to R2 but never under a minimum value.

Resistor R3 is a short circuit protection. 555 must be a CMOS version.

REMARK

R1 unbalances the internal temperature compensation scheme of the 555 in order to introduce a temperature coefficient that matches the HS1100/HS1101 temperature coefficient. In all cases, R1 should be a 1% resistor with a maximum of 100ppm coefficient temperature like all other R-C timer resistors. Since 555 internal temperature compensation changes from one trademark to one other, R1 value should be adapted to the specific chip. To keep the nominal frequency of 6660Hz at 55%RH, R2 also needs slight adjustment as shown in the table.

555 Type	R1	R2
TLC555 (Texas)	909kΩ	576kΩ
TS555 (STM)	100nF capacitor	523kΩ
7555 (Harris)	1732kΩ	549kΩ
LMC555 (National)	1238kΩ	562kΩ

For a frequency of 6660Hz at 55%RH

Typical Characteristics for Frequency Output Circuits

REFERENCE POINT AT 6660Hz FOR 55%RH / 25°C

RH	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Frequency	7351	7224	7100	6976	6853	6728	6600	6468	6330	6186	6033

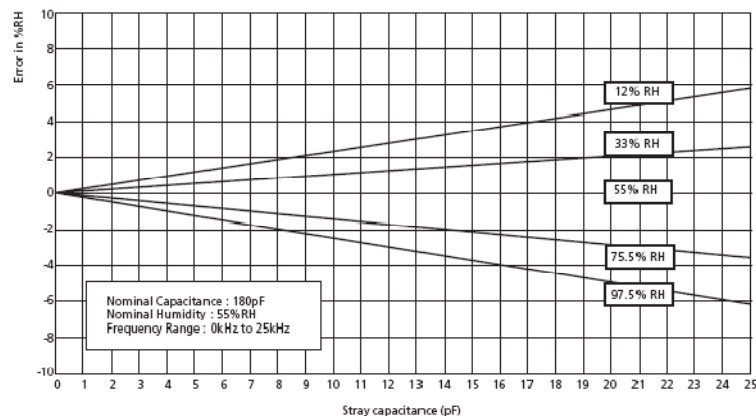
Typical for a 555 Cmos type. TLC555 (RH : Relative Humidity in %, F : Frequency in Hz)

Polynomial response :

$$F_{mes}(Hz) = F_{55}(Hz) (1.1038 - 1.936810^{-3} * RH + 3.011410^{-6} * RH^2 - 3.440310^{-8} * RH^3)$$

Measurement Error vs Stray Capacitance

A special attention is required in order to minimize stray capacitance in the layout. The added capacitance will act as a parallel capacitance with the sensor and create a measurement error.





TECHNICAL DATA

● QUALIFICATION PROCESS

- HS1100/HS1101 sensors have been qualified through a complete qualification process taking in account many of the requirements of the MIL STD750 including :

Solder heat and solderability
Wave soldering at 260°C + DI water clean at 45°C
Mechanical shock - 1500 g, 5 blows, 3 directions
Vibration - Variable (F = 100 - 2000Hz), fixed (F = 35Hz)
Constant acceleration
Marking permanency
ESD - Electrostatic Discharge - Human body & Machine model
Salt Atmosphere MIL STD750/Method 1041/96 hours
Temperature Cycling - 40°C / +85°C

High Temperature / Humidity Operating Life - 93%RH / 60°C for 1000 hours
Low humidity storage life - RH < 10%/23°C - 1000 hours
Resistance to immersion in water at ambient temperature and 80°C - 160 hours
Resistance to acid vapors at 75000 ppm for nitric, sulfuric and chlorhydric acids
Resistance to many chemicals linked with home appliances/ automotive or consumer applications.

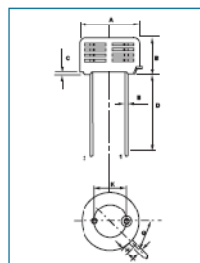
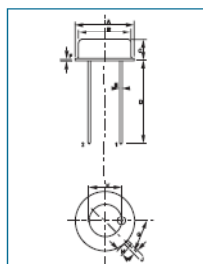
All these tests are regularly performed on different lots from production. **More information are available on request**

● Environmental and recycling information :

- HS1100/HS1101 sensors are lead free components
- HS1100/HS1101 sensors are free of Cr (VI), Cd and Hg.

PACKAGE OUTLINE HS1100

Dim	Min (mm)	Max (mm)
A	9.00	9.30
B	8.00	8.50
C	3.50	3.90
D	12.00	14.00
E	0.40	0.50
G	45° BCS	
H	0.70	1.10
J	0.70	0.90
K	4.83	5.33



Dim	Min (mm)	Max (mm)
A	9.70	10.20
B	5.70	6.20
C	0.40	0.60
D	12.00	14.00
E	0.40	0.50
G	45° BCS	
H	0.70	1.10
J	0.70	0.90
K	4.83	5.33

PACKAGE OUTLINE HS1101

ORDERING INFORMATION :
HS 1100 : HPP 800 A 001 (MULTIPLE PACKAGE QUANTITY OF 50 PIECES)
HS 1101 : HPP 801 A 001 (MULTIPLE PACKAGE QUANTITY OF 48 PIECES)
CAPACITIVE RELATIVE HUMIDITY SENSOR.

**SAMPLE KIT OF HS1100-HS1101
IS AVAILABLE THROUGH
HUMIREL WEB SITE**

www.humirel.com

email : sales@humirel.com

The information in this sheet has been carefully reviewed and is believed to be accurate; however, no responsibility is assumed for inaccuracies. Furthermore, this information does not convey to the purchaser of such devices any license under the patent rights to the manufacturer. Humirel reserves the right to make changes without further notice to any product herein. Humirel makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its product for any particular purpose, nor does Humirel assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. « Typical » parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including « Typical » must be validated for each customer applications by customer's technical experts. Humirel does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Humirel products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other application intended to support or sustain life, or for any application in which the failure of the Humirel product could create a situation where personal injury or death may occur. Should buyer purchase or use Humirel products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Humirel and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors harmless against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Humirel was negligent regarding the design or manufacture of the part. Humirel is a registered trade mark of Humirel.

Anexo

B

**DATA SHEET DEL
MICROCONTROLADOR PIC
16F870**



PIC16F870/871

Data Sheet

28/40-Pin, 8-Bit CMOS
FLASH Microcontrollers



PIC16F870/871

28/40-Pin, 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

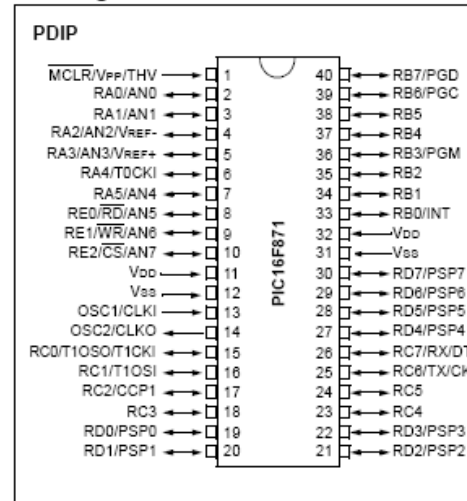
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F870
- PIC16F871

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- 2K x 14 words of FLASH Program Memory
128 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
64 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16CXXX 28 and 40-pin devices
- Interrupt capability (up to 11 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low power consumption:
 - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

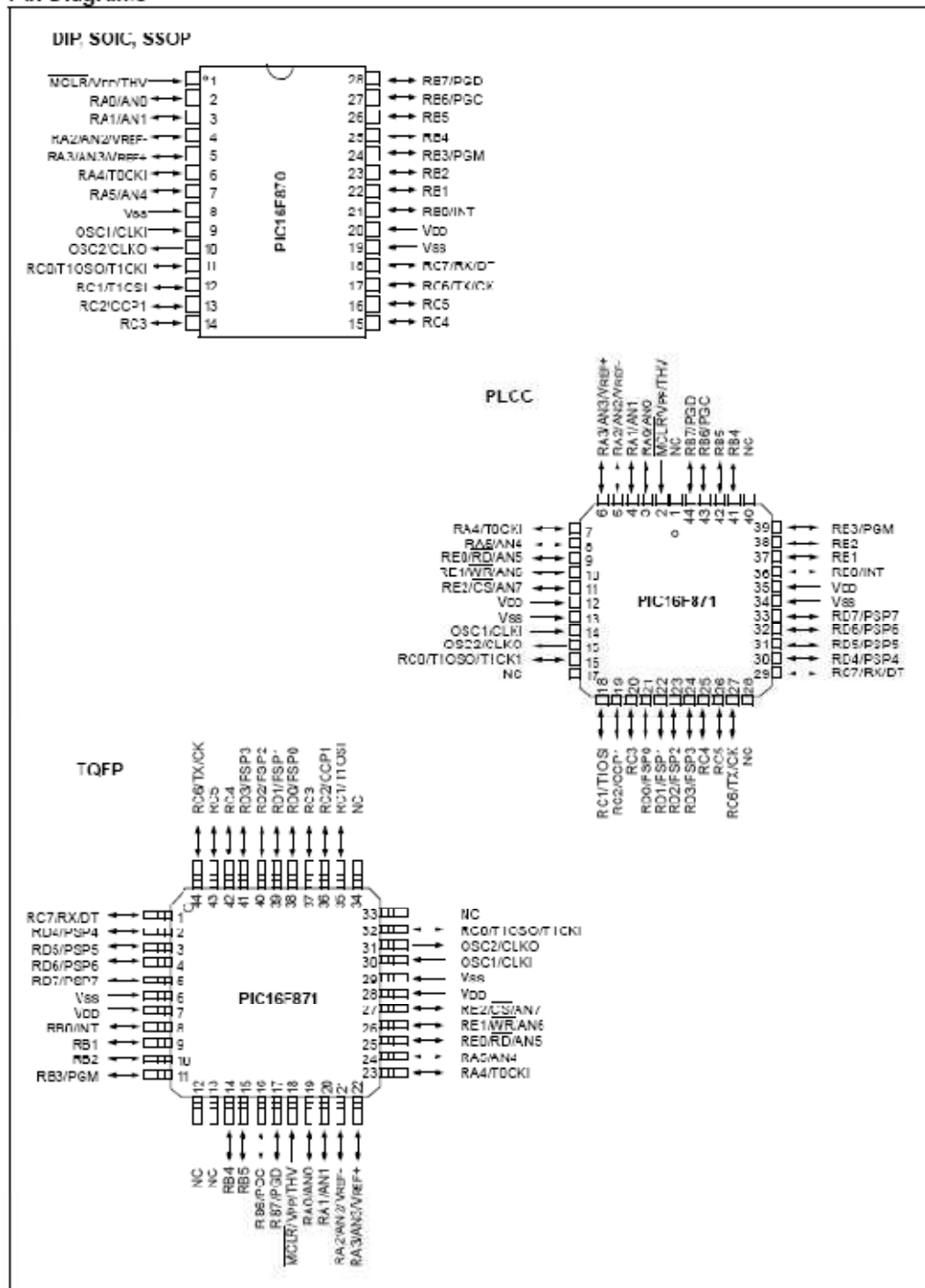


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- One Capture, Compare, PWM module
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

PIC16F870/871

Pin Diagrams



PIC16F870/871

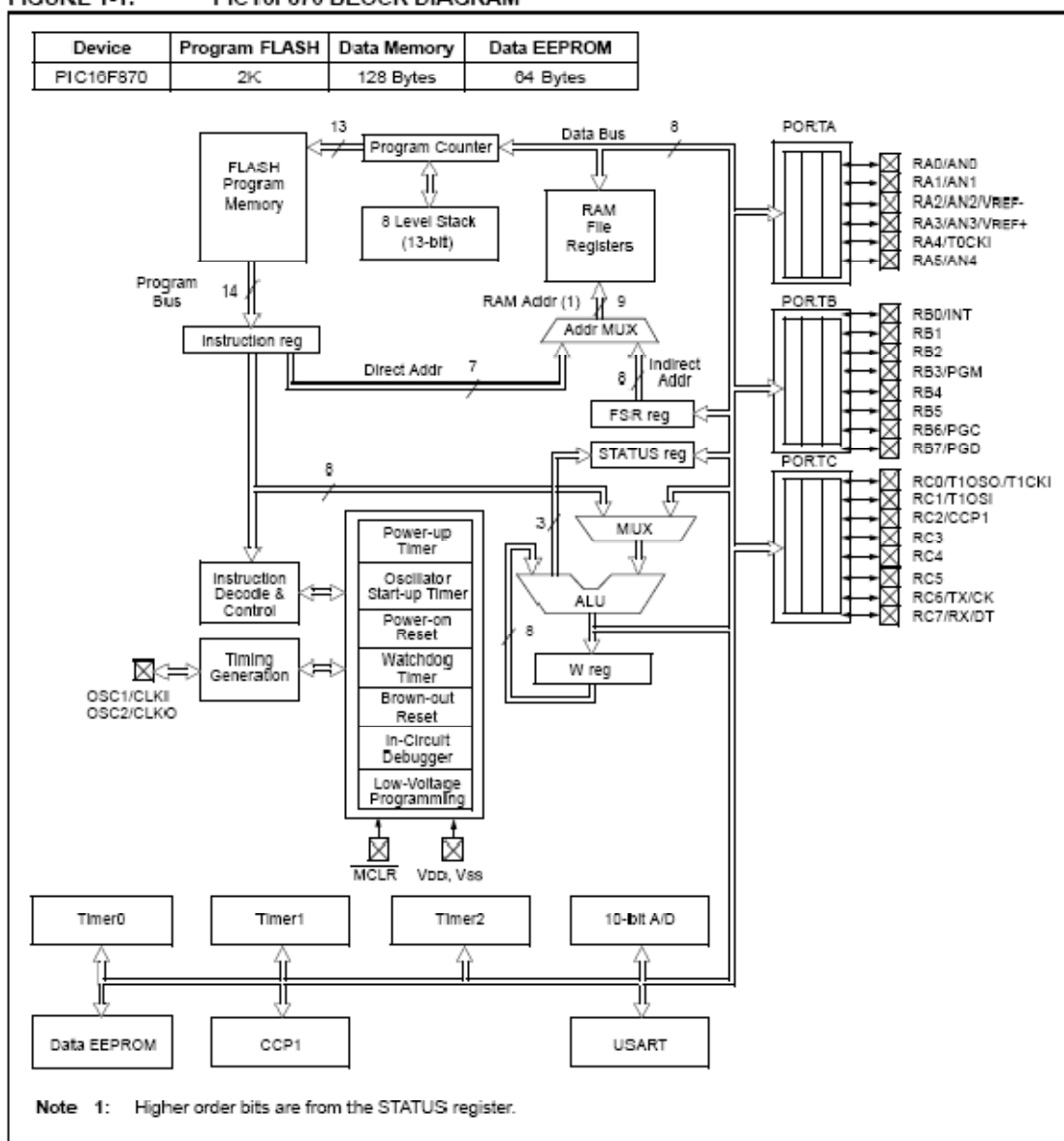
1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

There are two devices (PIC16F870 and PIC16F871) covered by this data sheet. The PIC16F870 device comes in a 28-pin package and the PIC16F871 device comes in a 40-pin package. The 28-pin device does not have a Parallel Slave Port implemented.

The following two figures are device block diagrams sorted by pin number: 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F870 BLOCK DIAGRAM



PIC16F870/871

TABLE 1 1: PIC16F870 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI	9	9	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKO	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT, which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP/THV	1	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input or High Voltage Test mode control. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input 0. RA1 can also be analog input 1. RA2 can also be analog input 2 or negative analog reference voltage. RA3 can also be analog input 3 or positive analog reference voltage. RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type. RA5 can also be analog input 4.
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST/OD	
RA5/AN4	7	7	I/O	TTL	
RB0/INT	21	21	I/O	TT/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin. RB3 can also be the low voltage programming input. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TT/ST ⁽¹⁾	
RB4	25	25	I/O	TTL	
RB5	26	26	I/O	TTL	
RB6/PGC	27	27	I/O	TT/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	28	28	I/O	TT/ST ⁽²⁾	
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RC1/T1OSI	12	12	I/O	ST	
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	
RC3	14	14	I/O	ST	
RC4	15	15	I/O	ST	
RC5	16	16	I/O	ST	
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	
Vss	8, 19	3, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
Vcc	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 OD = Open Drain — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

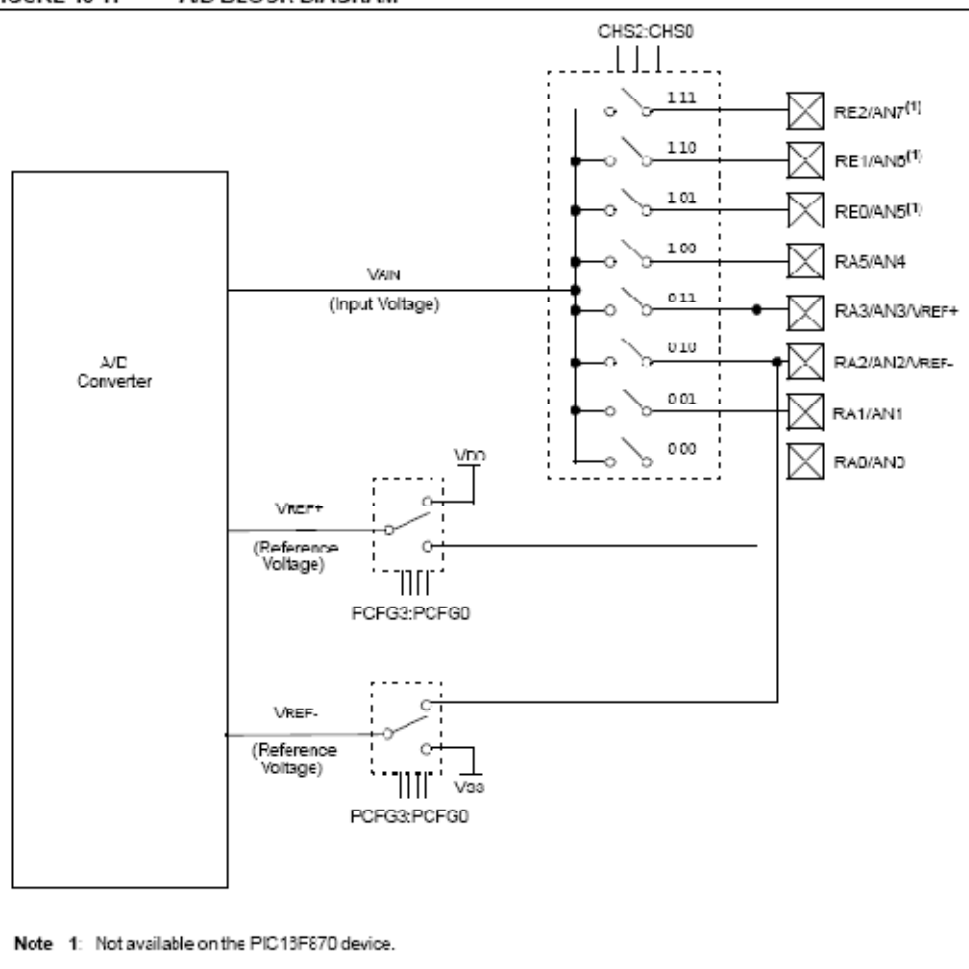
- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt or LVP mode.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F870/871

These steps should be followed for doing an A/D Conversion:

1. Configure the A/D module:
 - Configure analog pins/voltage reference and digital I/O (ADCON1)
 - Select A/D input channel (ADCON0)
 - Select A/D conversion clock (ADCON0)
 - Turn on A/D module (ADCON0)
2. Configure A/D interrupt (if desired):
 - Clear ADIF bit
 - Set ADIE bit
 - Set PEIE bit
 - Set GIE bit
3. Wait the required acquisition time.
4. Start conversion.
 - Set GO/DONE bit (ADCON0)
5. Wait for A/D conversion to complete, by either:
 - Polling for the GO/DONE bit to be cleared (with interrupts enabled); OR
 - Waiting for the A/D interrupt
6. Read A/D Result register pair (ADRESH:ADRESL), clear bit ADIF if required.
7. For the next conversion, go to step 1 or step 2, as required. The A/D conversion time per bit is defined as T_{AD} . A minimum wait of 2 T_{AD} is required before the next acquisition starts.

FIGURE 10-1: A/D BLOCK DIAGRAM



Anexo

C

DATA SHEET XBEE

XBee™/XBee-PRO™ OEM RF Modules

XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

RF Module Operation

RF Module Configuration

Appendices



Product Manual v1.xAx - 802.15.4 Protocol

For OEM RF Module Part Numbers: XB24-...-001, XBP24-...-001

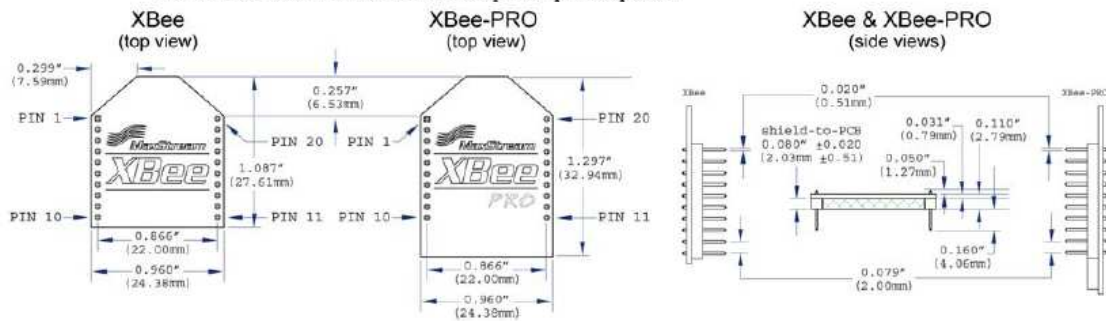
IEEE® 802.15.4 OEM RF Modules by MaxStream, Inc.

Specifications of the Xbee/Xbee– Pro OEM RF Modules

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	up to 100 ft. (30 m)	Up to 300' (100 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 300 ft. (100 m)	Up to 1 mile (1500 m)
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	60 mW (18 dBm) conducted, 100 mW (20 dBm) EIRP*
RF Data Rate	250,000 kbps	250,000 kbps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 115200 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 - 115200 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	If PL=0 (10dBm): 137mA(@3.3V), 139mA(@3.0V) PL=1 (12dBm): 155mA (@3.3V), 153mA(@3.0V) PL=2 (14dBm): 170mA (@3.3V), 171mA(@3.0V) PL=3 (16dBm): 188mA (@3.3V), 195mA(@3.0V) PL=4 (18dBm): 215mA (@3.3V), 227mA(@3.0V)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A	< 10 μ A
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	n/a	005NYCA0378 (Max. 10 dBm transmit power output)**

Mechanical Drawings

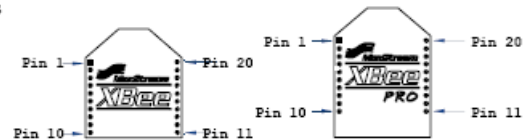
Mechanical drawings of the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules (antenna options not shown)
The XBee and XBee-PRO RF Modules are pin-for-pin compatible.



Pin signals

XBee/XBee-PRO RF Module Pin Numbers

(top sides shown - shields on bottom)



Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules

(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

Electrical Characteristics

DC Characteristics (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V _{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V _{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V _{OL}	Output Low Voltage	I _{OL} = 2 mA, VCC ≥ 2.7 V	-	-	0.5	V
V _{OH}	Output High Voltage	I _{OH} = -2 mA, VCC ≥ 2.7 V	VCC - 0.5	-	-	V
I _{IIN}	Input Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025	1	μA
I _{IOZ}	High Impedance Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025	1	μA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee) 215 (PRO)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee) 55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	μA

ADC Characteristics (Operating)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V _{REFH}	VREF - Analog-to-Digital converter reference range		2.08	-	V _{DDAD}	V
I _{REF}	VREF - Reference Supply Current	Enabled	-	200	-	μA
		Disabled or Sleep Mode	-	< 0.01	0.02	μA
V _{INDC}	Analog Input Voltage ¹		V _{SSAD} - 0.3	-	V _{DDAD} + 0.3	V

1. Maximum electrical operating range, not valid conversion range.

ADC Timing/Performance Characteristics¹

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
R _{AS}	Source Impedance at Input ²		-	-	10	kΩ
V _{AIN}	Analog Input Voltage ³		V _{REFL}		V _{REFH}	V
RES	Ideal Resolution (1 LSB) ⁴	2.08V ≤ V _{DDAD} ≤ 3.6V	2.031	-	3.516	mV
DNL	Differential Non-linearity ⁵		-	±0.5	±1.0	LSB
INL	Integral Non-linearity ⁶		-	±0.5	±1.0	LSB
E _{ZS}	Zero-scale Error ⁷		-	±0.4	±1.0	LSB
F _{FS}	Full-scale Error ⁸		-	±0.4	±1.0	LSB
E _{IL}	Input Leakage Error ⁹		-	±0.05	±5.0	LSB
E _{TU}	Total Unadjusted Error ¹⁰		-	±1.1	±2.5	LSB

1. All ACCURACY numbers are based on processor and system being in WAIT state (very little activity and no IO switching) and that adequate low-pass filtering is present on analog input pins (filter with 0.01 μF to 0.1 μF capacitor between analog input and VREFL). Failure to observe these guidelines may result in system or microcontroller noise causing accuracy errors which will vary based on board layout and the type and magnitude of the activity.

Data transmission and reception during data conversion may cause some degradation of these specifications, depending on the number and timing of packets. It is advisable to test the ADCs in your installation if best accuracy is required.

2. R_{AS} is the real portion of the impedance of the network driving the analog input pin. Values greater than this amount may not fully charge the input circuitry of the ATD resulting in accuracy error.

3. Analog input must be between V_{REFL} and V_{REFH} for valid conversion. Values greater than V_{REFH} will convert to \$3FF.

4. The resolution is the ideal step size or 1LSB = (V_{REFH} - V_{REFL})/1024

5. Differential non-linearity is the difference between the current code width and the ideal code width (1LSB). The current code width is the difference in the transition voltages to and from the current code.

6. Integral non-linearity is the difference between the transition voltage to the current code and the adjusted ideal transition voltage for the current code. The adjusted ideal transition voltage is (Current Code - 1/2) * (1 / ((V_{REFH} + E_{FS}) - (V_{REFL} + E_{ZS}))).

7. Zero-scale error is the difference between the transition to the first valid code and the ideal transition to that code. The Ideal transition voltage to a given code is (Code - 1/2) * (1 / (V_{REFH} - V_{REFL})).

8. Full-scale error is the difference between the transition to the last valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is (Code - 1/2) * (1 / (V_{REFH} - V_{REFL})).

9. Input leakage error is error due to input leakage across the real portion of the impedance of the network driving the analog pin. Reducing the impedance of the network reduces this error.

10. Total unadjusted error is the difference between the transition voltage to the current code and the ideal straight-line transfer function. This measure of error includes inherent quantization error (1/2LSB) and circuit error (differential, integral, zero-scale, and full-scale) error. The specified value of E_{TU} assumes zero E_{IL} (no leakage or zero real source impedance).

ADC and Digital I/O Line Support

The XBee/XBee-PRO RF Modules support ADC (Analog-to-digital conversion) and digital I/O line passing. The following pins support multiple functions:

Table 2-01. Pin functions and their associated pin numbers and commands
AD = Analog-to-Digital Converter, DIO = Digital Input/Output
Pin functions not applicable to this section are denoted within (parenthesis).

Pin Function	Pin#	AT Command
AD0 / DIO0	20	D0
AD1 / DIO1	19	D1
AD2 / DIO2	18	D2
AD3 / DIO3 / (COORD_SEL)	17	D3
AD4 / DIO4	11	D4
AD5 / DIO5 / (ASSOCIATE)	15	D5
DIO6 / (RTS)	16	D6
DIO7 / (CTS)	12	D7
DIO8 / (DTR) / (Sleep_RQ)	9	D8

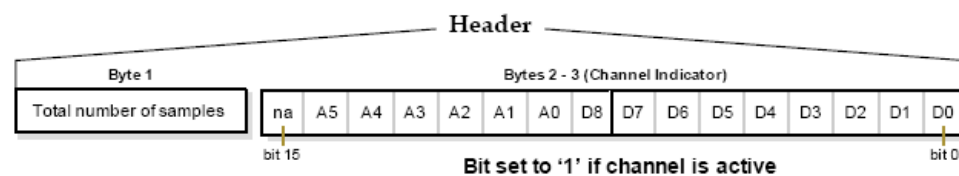
To enable ADC and DIO pin functions:

For ADC Support:	Set ATDn = 2
For Digital Input support:	Set ATDn = 3
For Digital Output Low support:	Set ATDn = 4
For Digital Output High support:	Set ATDn = 5

I/O Data Format

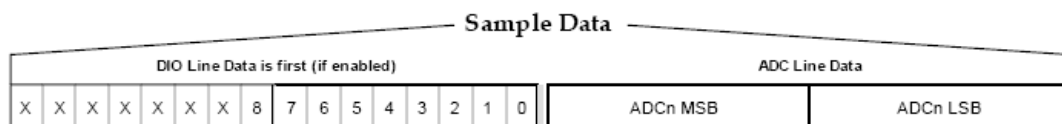
I/O data begins with a header. The first byte of the header defines the number of samples forthcoming. A sample is comprised of input data and the inputs can contain either DIO or ADC. The last 2 bytes of the header (Channel Indicator) define which inputs are active. Each bit represents either a DIO line or ADC channel.

Figure 2-04. Header



Sample data follows the header and the channel indicator frame is used to determine how to read the sample data. If any of the DIO lines are enabled, the first 2 bytes are the DIO data and the ADC data follows. ADC channel data is stored as an unsigned 10-bit value right-justified on a 16-bit boundary.

Figure 2-05. Sample Data



Anexo

D

**DIAGRAMA CIRCUITAL DEL
DISPOSITIVO FINAL**

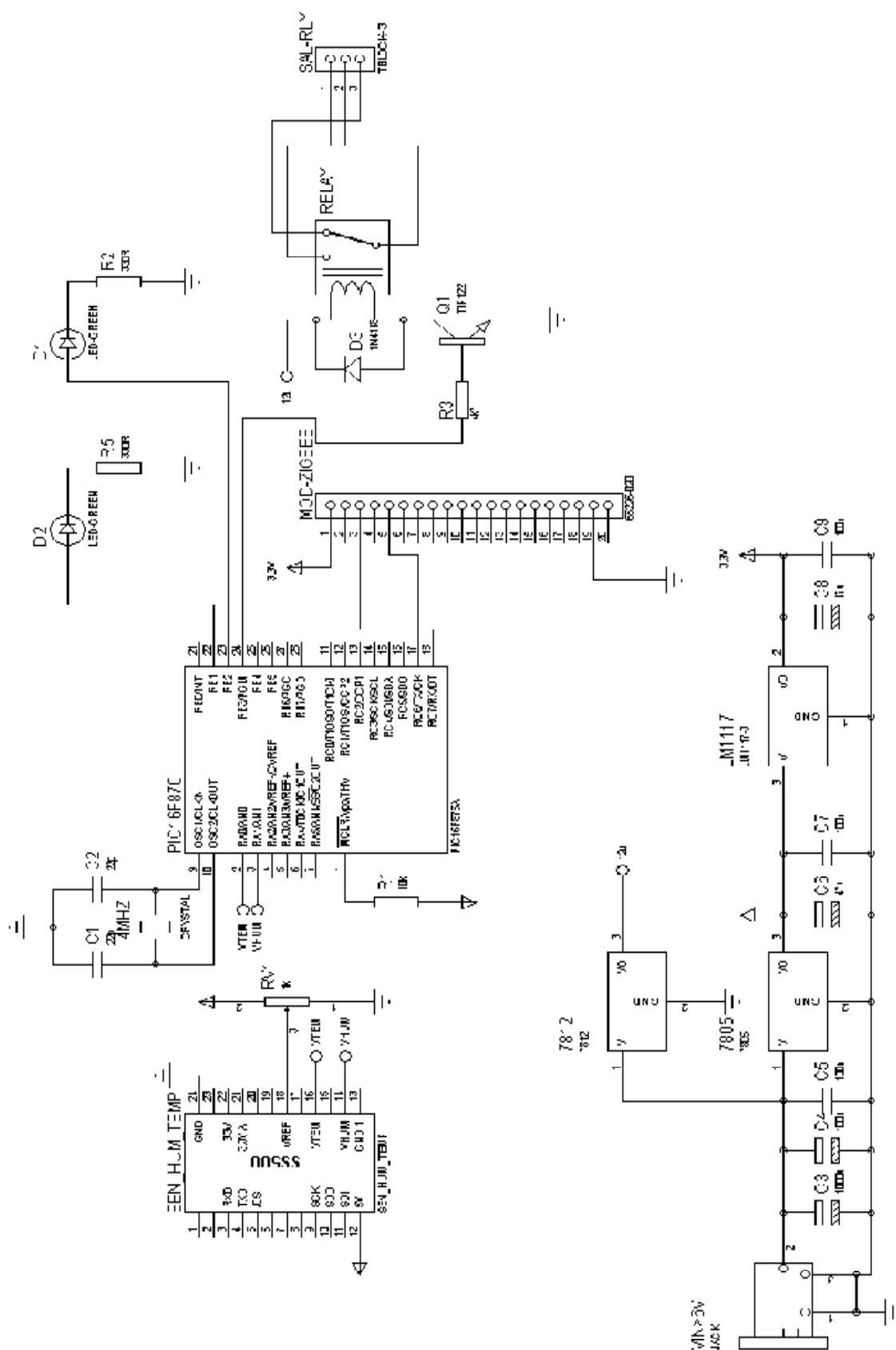


Diagrama circuital del dispositivo final Figura 4.4.2.1

Anexo

E

CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO ZIGBEE TX Y RX

CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO ZIGBEE TX Y RX

Se elige software para configuración de módulos Zigbee, x-ctu, software propio de la empresa digi, creadora de los módulos Zigbee, tal como se muestra en la Figura 1

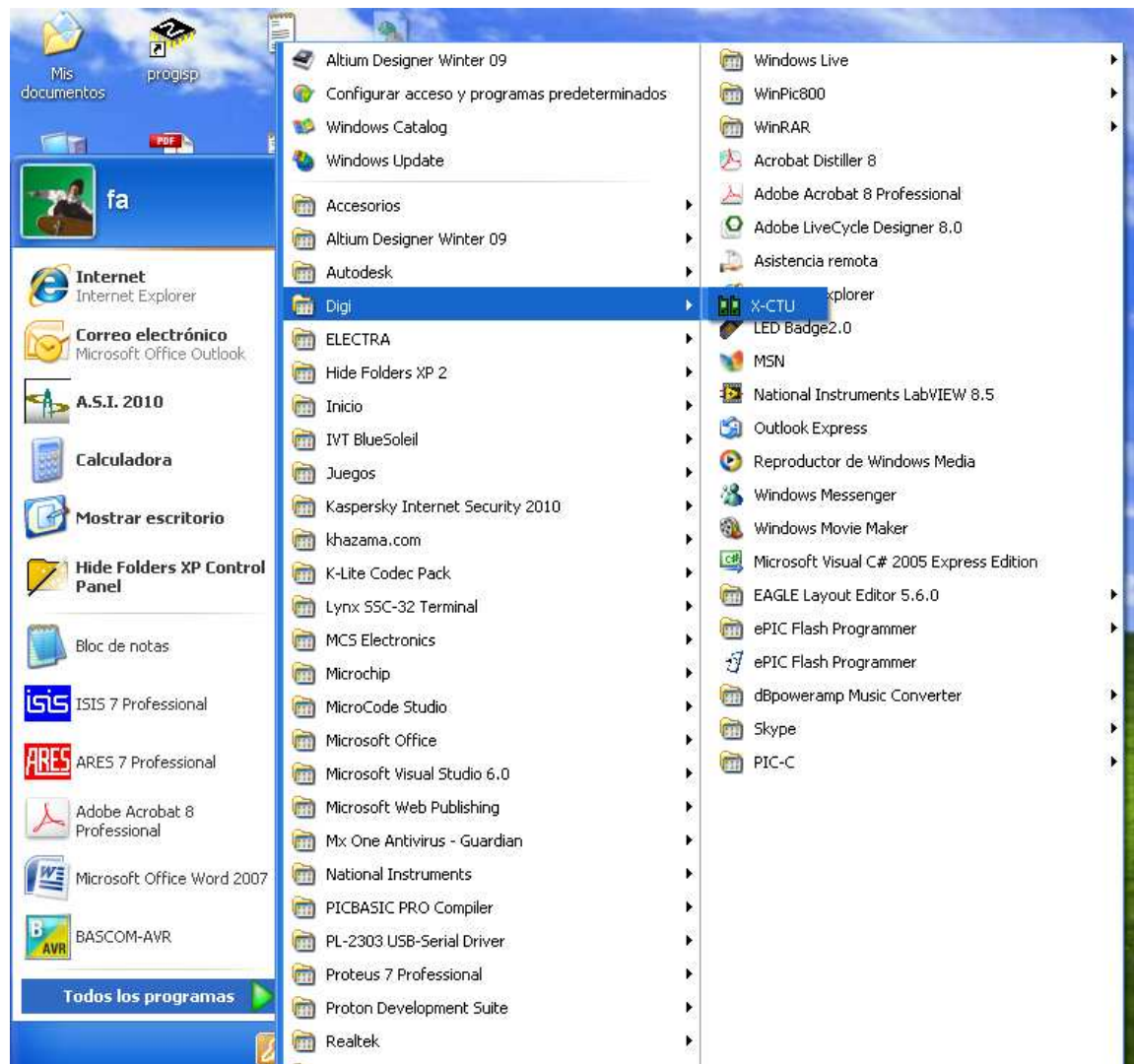


Figura 1: Configuración módulo Zigbee.

En la pantalla del x-ctu, se elige el puerto com en el cual, está conectado el Zigbee, como se usa una tarjeta exploradora “Usb Zigbeeexplorer”, esta crea un puerto com virtual, que en nuestra computadora se enumera como “Usb serial port (com 4)”, tal como se muestra en la Figura 2.

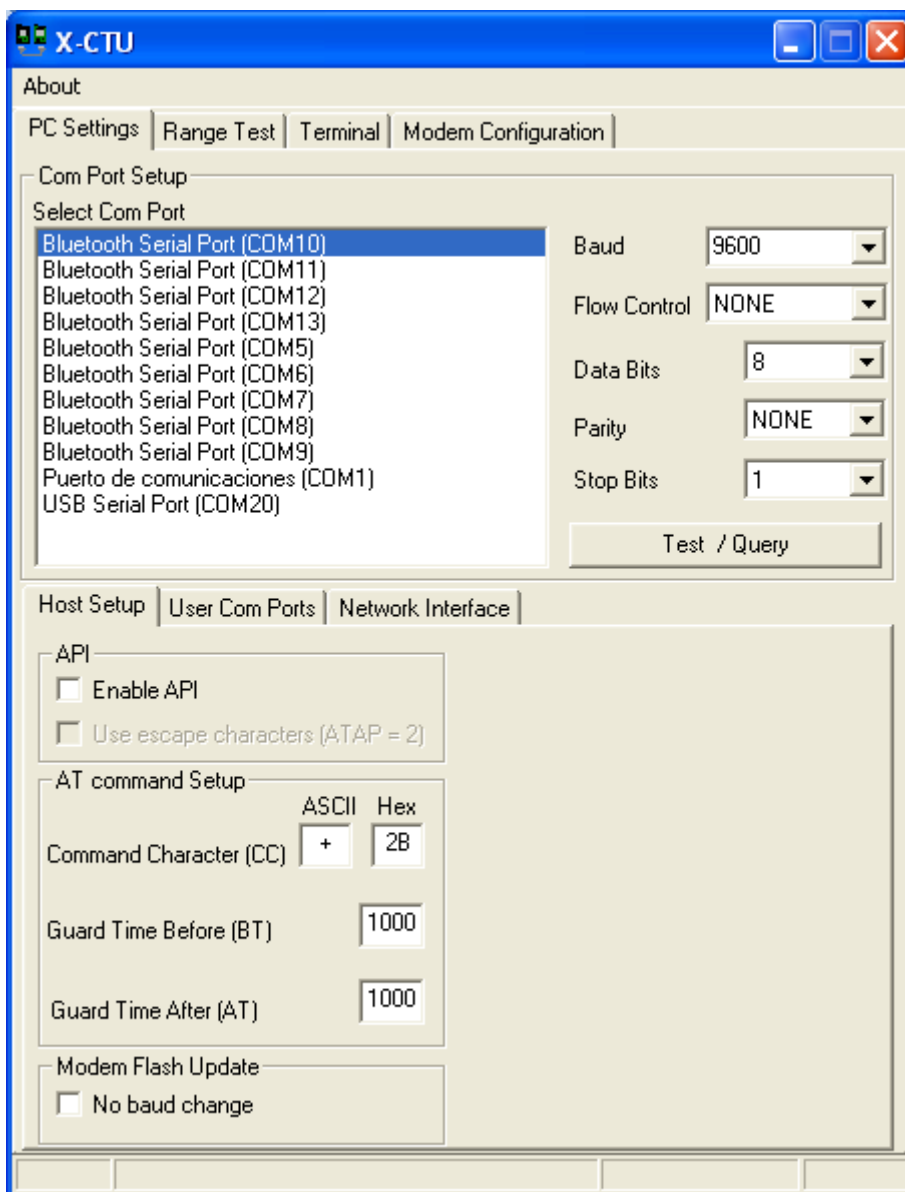


Figura 2: Selección del puerto com.

Se elige el puerto serial virtual creado (com 4) y damos clic en tes/query como se muestra en la Figura 3.

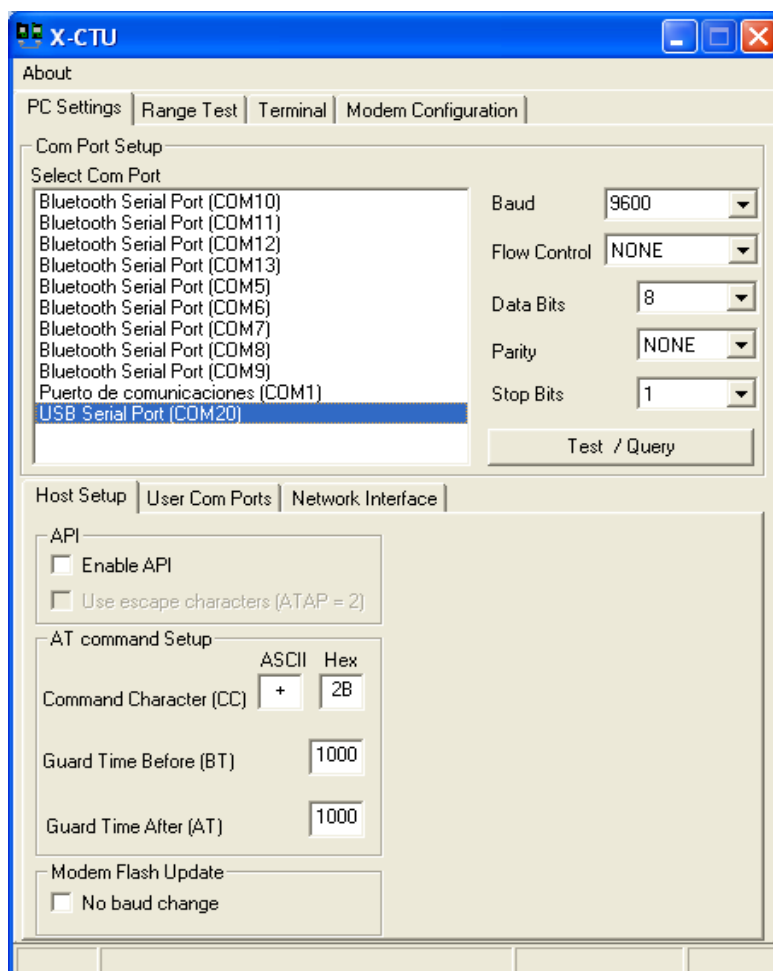


Figura 3: Aceptación del puerto.

Al hacer el test, del módulo Zigbee conectado en el explorador tenemos el siguiente cuadro de verificación al cual se pulsa “ok”, como se muestra en la Figura 4.

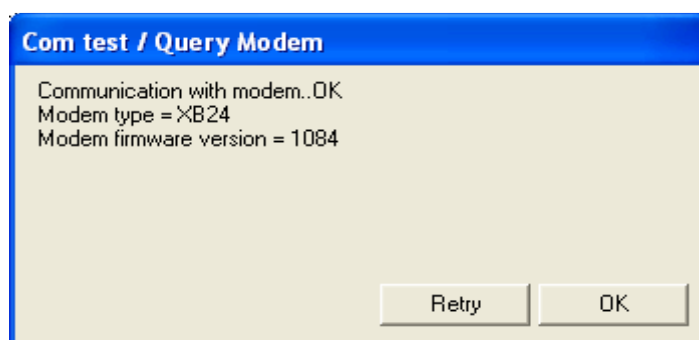


Figura 4: Cuadro de verificación del módulo.

Luego se puede entrar a la pestaña de “modem configuration”, como se muestra en la Figura 5 y se pulsa click en el boton “read” y el módulo entrará en modo de programación y nos mostrará todos los datos y configuraciones del mismo, como se muestra en la Figura 6.

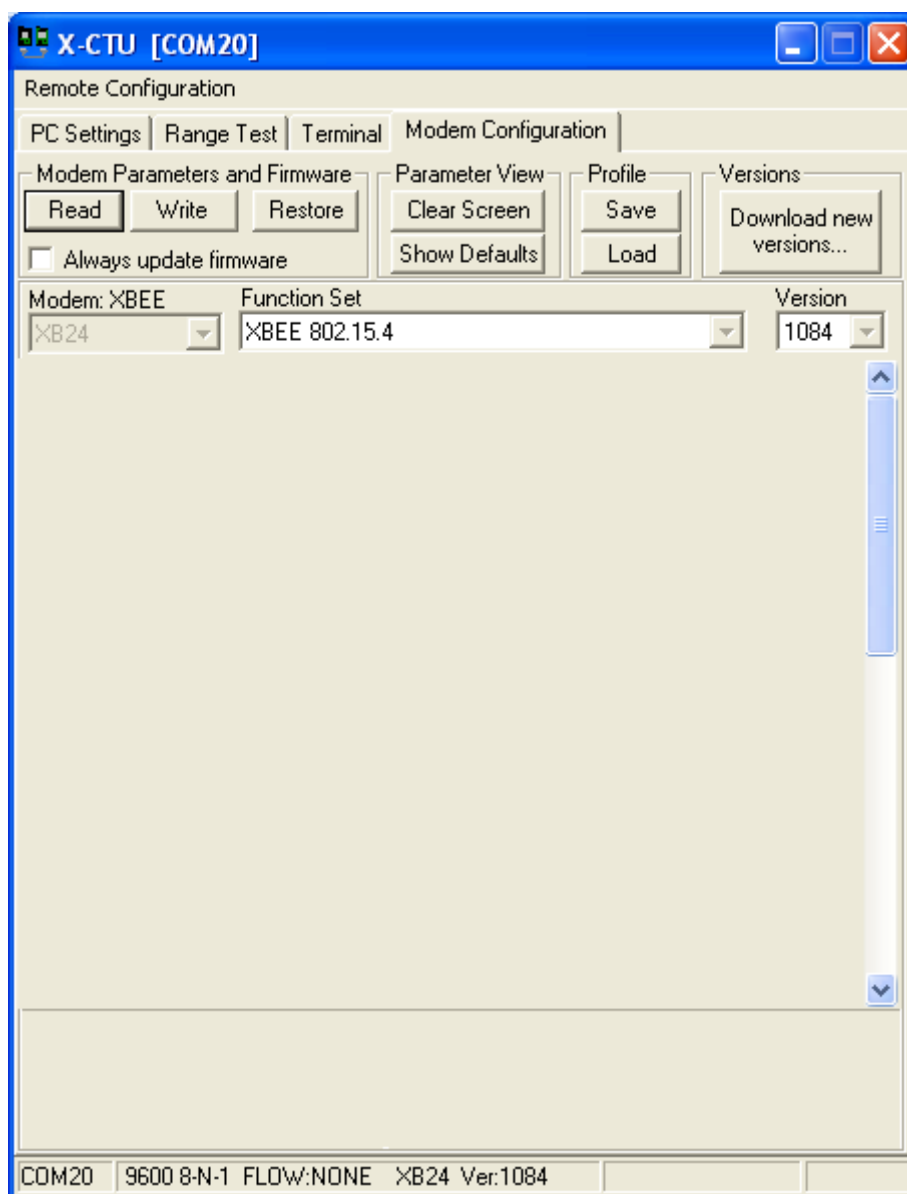


Figura 5: Modem configuración.

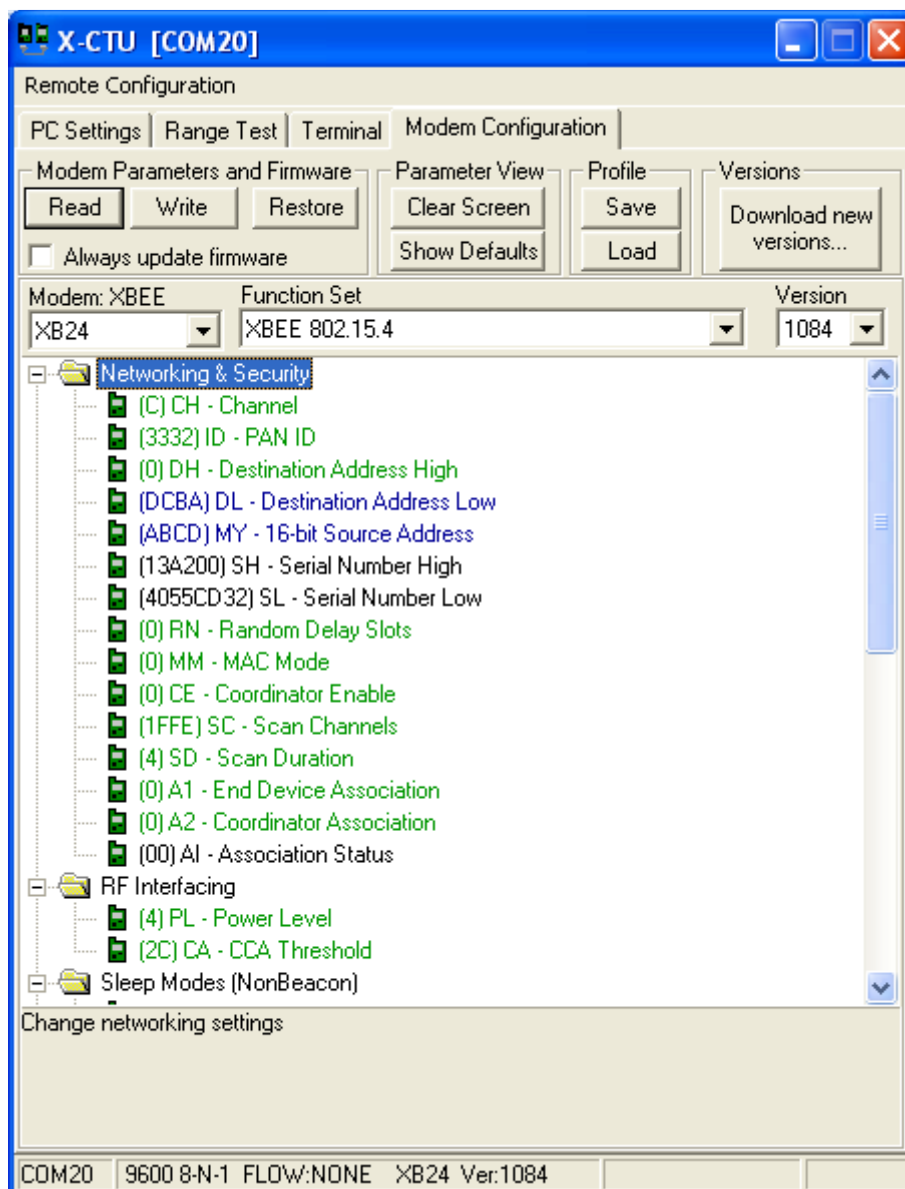


Figura 6: Módulo read de programación.

Para la aplicación a realizarse el modo de comunicación es “transparente” por lo que basta con asignar las direcciones de “my” y “dl” a los módulos, obviamente para poder realizar la comunicación las direcciones a cambiar “my” y “dl” deben ser inversas en nuestros módulos, es decir en el primer módulo se asigna la dirección “dl: dcba” y “my:abcd” , mientras que en el otro módulo las direcciones correspondientes serán “dl:abcd” y “my: dcba”

Una vez que se escribe esas direcciones se pulsa clic en el botón “write” y los módulos Zigbee están programados y listos para ser usados, por lo que se puede empezar la

comunicación y se puede ver en la pestaña “terminal” la información que recibe el módulo Zigbee, tal como se muestra en la Figura 7.

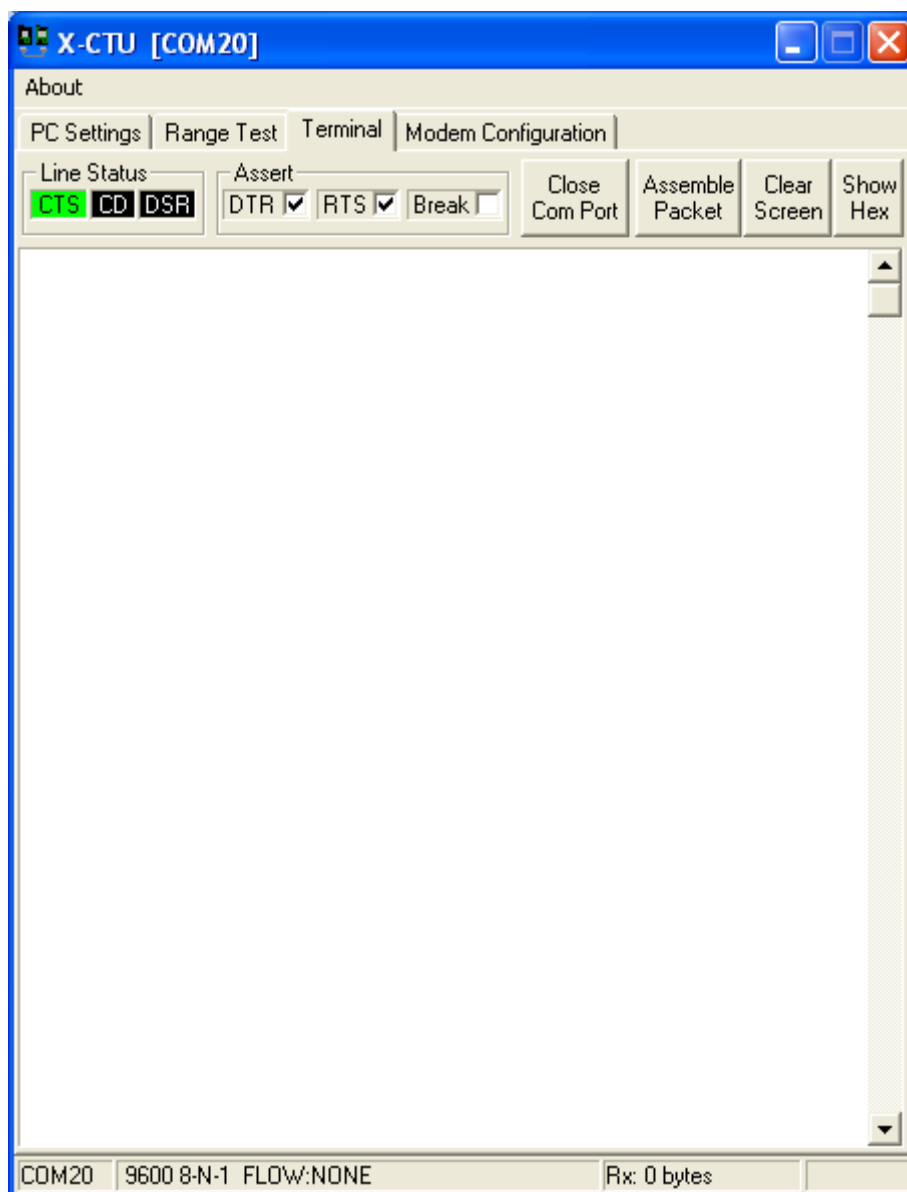


Figura 7: Direccionamiento de módulos.

En la imagen se ve los datos que se recibe desde el módulo con el sensor de temperatura y humedad, estos datos serán los que serán procesados en el programa de PC, tal como de muestra en la Figura 8.



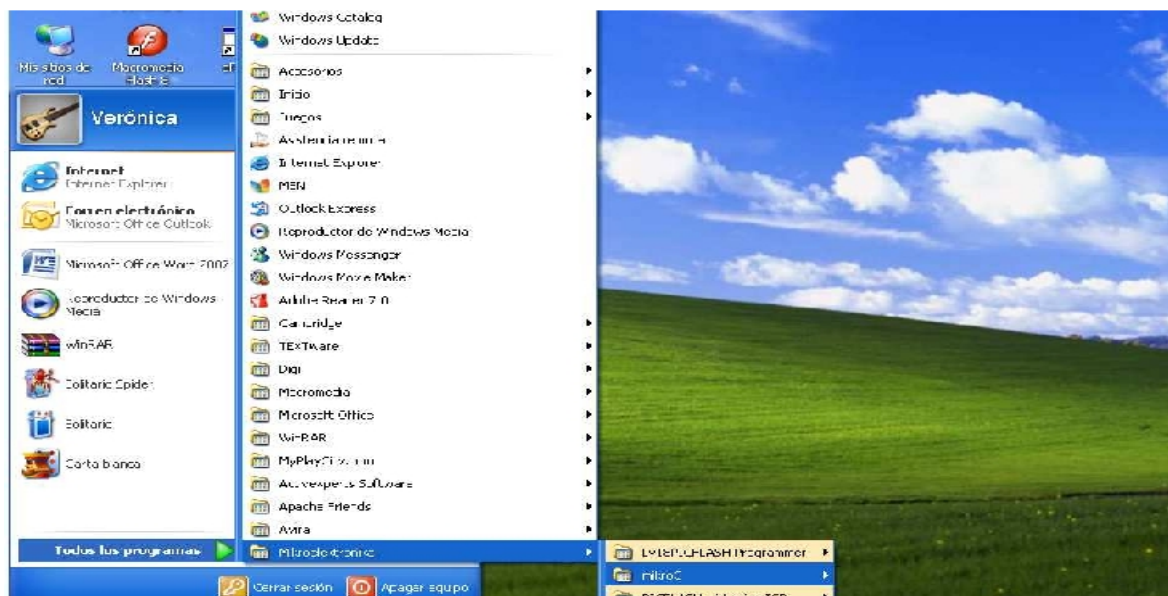
Figura 8: Datos recibidos desde el sensor.

Anexo

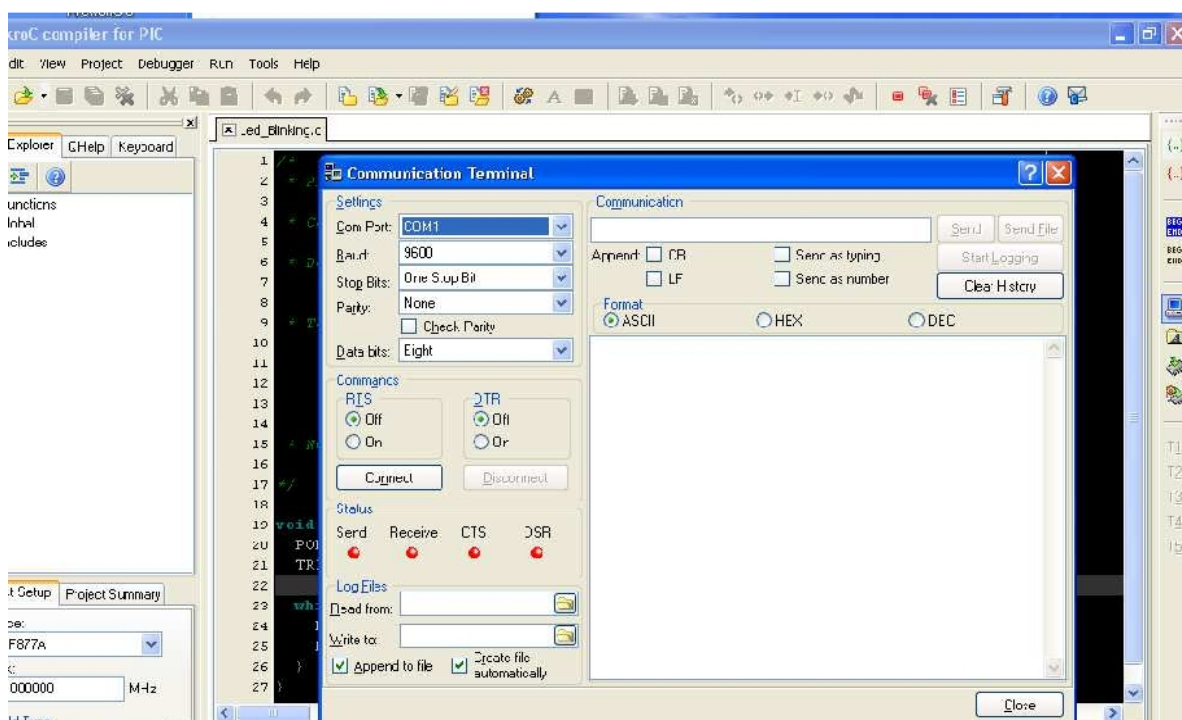
F

**CONFIGURACIÓN DE ON / OFF
MANUAL POR MIKROC**

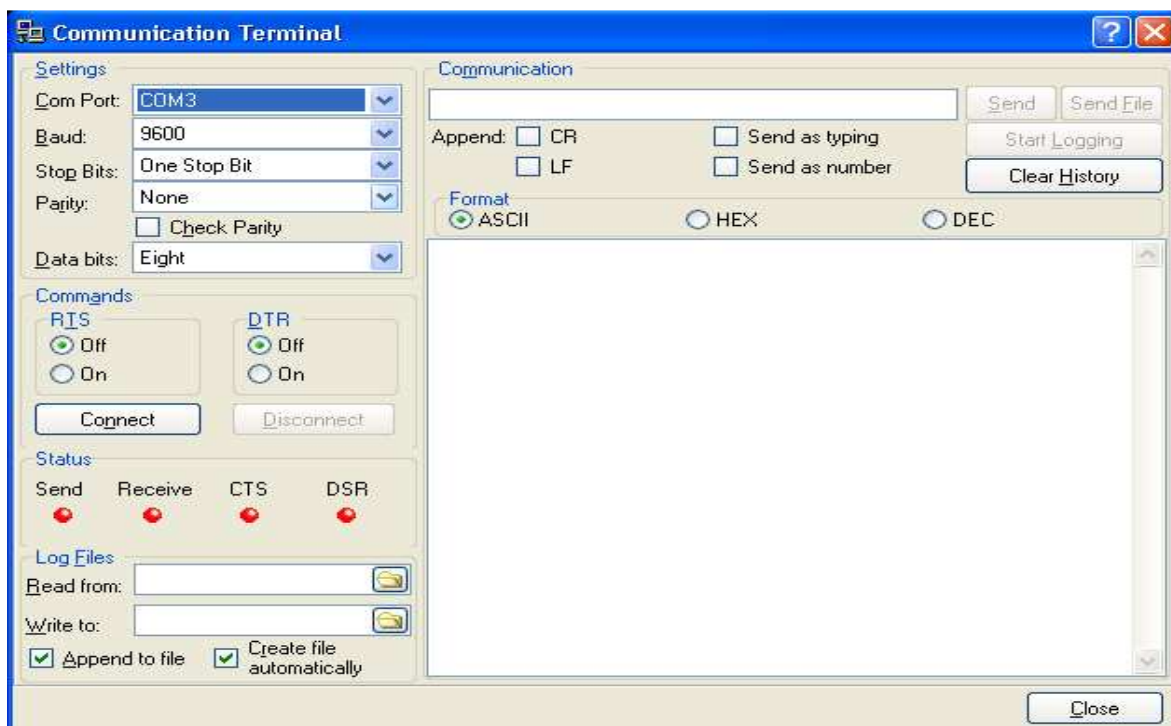
Se elige MikroC.



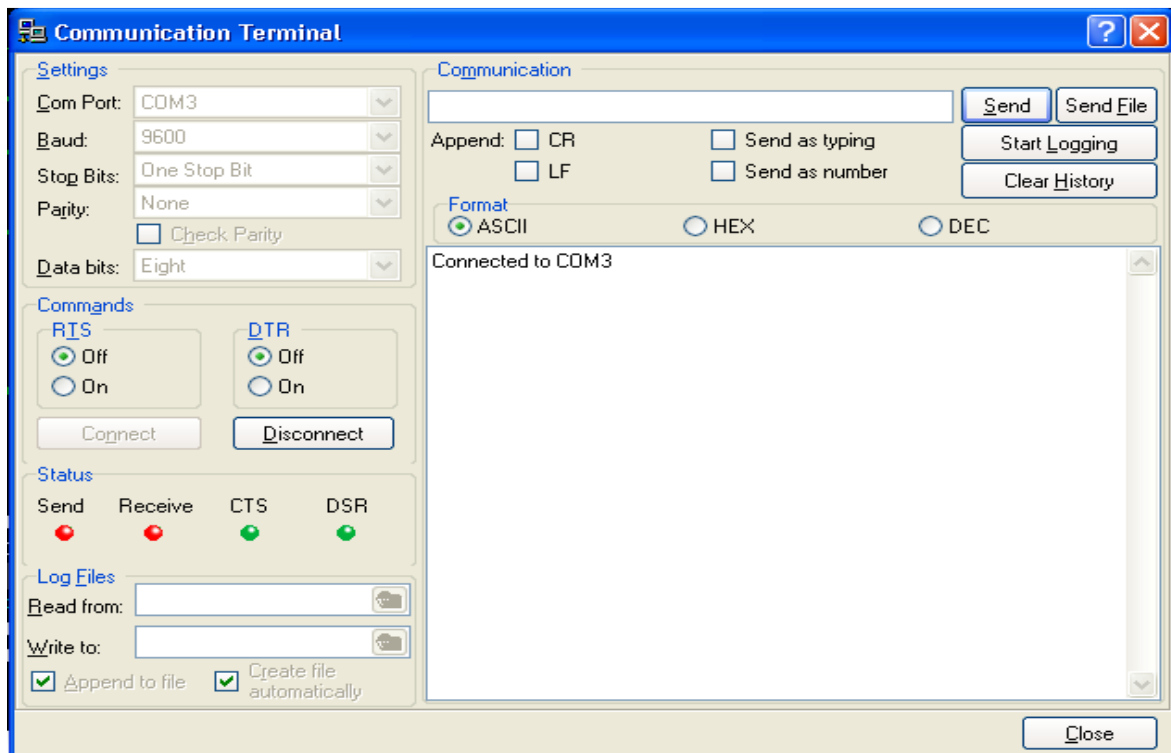
Se escoge Terminal



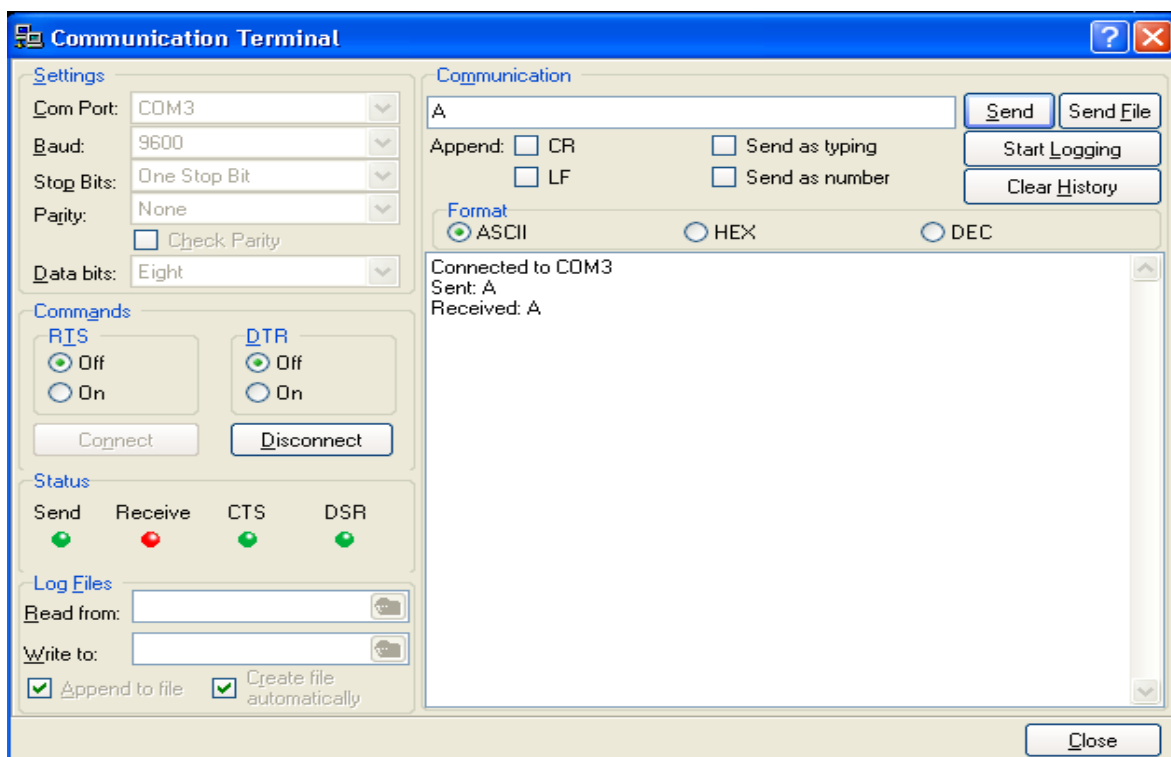
Se elige el puerto com4.



A continuación se conecta y empieza la transmisión y recepción de datos.



Se envía A para apagar y realizar un reset manual y E para encender.



Anexo

G

PLANO DE LA BODEGA ARGELIA

ESCALA 1: 200

